



TUGAS AKHIR (RC14-1501)

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

LISA FAYANITA

NRP 3111 100 046

Dosen Pembimbing:

Prof.Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

Prof. Taviero, ST., MT., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK SIPIL

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



---

FINAL PROJECT (RC14-1501)

WALL DESIGN MODIFICATION OF CIRCULAR PRIMARY  
CLARIFEIR TANK PT. PETROKIMIA GRESIK USING PRESTRESSED  
CONCRETE

LISA FAYANITA

NRP 3111 100 046

Promotor

Prof.Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.

Prof. Taviero, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering and Planning

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

**MODIFIKASI DINDING CIRCULAR PRIMARY  
CLARIFIER TANK PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada**

**Bidang Studi Struktur  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Oleh :**

**LISA FAYANITA**

**NRP : 3111 100 046**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Prof. Dr. Ir. I.G.P. Raka, DEA  
NIP. 195004031976031003**

**(Pembimbing I)**

**Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D  
NIP. 197003271997021001**

**(Pembimbing II)**

**SURABAYA  
JUNI, 2015**

**MODIFIKASI DINDING CIRCULAR PRIMARY  
CLARIFIER TANK PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG**

**Nama** : Lisa Fayanita  
**NRP** : 31 11 100 046  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.  
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.

**Abstrak**

*Circular Primary Clarifier Tank merupakan tangki beton bertulang pengolah air limbah milik PT. Petrokimia Gresik. Dindingnya yang semula tersusun dari beton bertulang akan dimodifikasi menjadi menggunakan beton prategang. pengertian beton prategang menurut definisi ACI ialah “beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal”.*

*Tekanan yang terjadi pada dinding Circular Primary Clarifier Tank bervariasi sesuai dengan elevasi. Oleh karena itu gaya prategang yang dibutuhkan pun akan berbeda-beda sesuai dengan gaya yang terjadi pada dinding. Dalam perhitungan kebutuhan gaya prategang akan digunakan beberapa jumlah strand yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan. Kehilangan gaya prategang akan dihitung dalam 2 kondisi, yaitu short term dan long term.*

*Modifikasi dilakukan berdasarkan “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11)”, “Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structure with Circumferential Tendons (ACI 373R-97)”, “Design and Construction of Circular Wire- and Strand- Wrapped Prestressed- Concrete Structures (ACI 372R-00)”, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)”.*

*Hasil yang didapat dari perencanaan Circular Primary Clarifier Tank yaitu ketebalan dinding yang berubah dari semula 35 cm menjadi 26 cm, kehilangan prategang kondisi short term dan long term, penulangan 10D19 untuk tulangan lentur dan 5D25 untuk tulangan lentur lapangan balok melingkar dan tulangan pakai 10D10 untuk perencanaan kolom. Perencanaan pondasi menggunakan metode Luciano Decourt menghasilkan jumlah bored pile yang dibutuhkan sebanyak 168 buah dengan jarak x dan y antar pilar sebesar 2.9 meter.*

**Kata Kunci: Circular Tank, Tangki, Beton Prategang**

# **WALL DESIGN MODIFICATION OF CIRCULAR PRIMARY CLARIFIER TANK PT. PETROKIMIA GRESIK USING PRESTRESSED CONCRETE**

**Name** : Lisa Fayanita  
**NRP** : 31 11 100 046  
**Department** : Civil Engineering FTSP – ITS  
**Promotor** : Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA.  
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.

## **Abstract**

*Circular Primary Clarifier Tank is a reinforced concrete based tank for waste water treatment belongs to PT. Petrokimia Gresik. The wall were originally design with reinforced concrete, and later will be replace by the prestresed one. The definition of prestressed concrete itself, according to ACI, is “structural concrete in which internal stresses have been introduced to reduce potential tensile stresses in concrete resulting from loads”.*

*The pressure occured Circular Primay Clarifier Tank’s wall in different value based on the elevation. Therefore it’s also effected how big the force of the prestressed on the wall. Calcuation for prestressed force involves different kind of strands to adjust the needs of the variation. Prestressed loss will be calculate in 2 conditions, short and long term.*

*Modification on the wall refers to “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11)”, “Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structure with Circumferential Tendons (ACI 373R-97)”, “Design and Construction of Circular Wire- and Strand- Wrapped Prestressed- Concrete Structures (ACI 372R-00)”, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)”.*

*The result of structure analysis based on the Circular Primary Clarifier Tank plans are wall thickness changes from 35*

*cm to 26 cm, prestressed lost in short term and long term, 10D19 reinforcement configuration for elastic reinforcement and 5D25 for the one in the middle of the circular beam and 10D10 for column. Foundation planned using Luciano Decourt method and the result is the amount of bored pile that's going to be used, which is 168 bored pile and the space between x and y to the bored pile is 2.9 meter.*

**Keywords:** *Circular Tank, Tank, Prestressed Concrete*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat kasih karunia dan pertolongan-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul *“Modifikasi Dinding Circular Primary Clarifier Tank PT. Petrokimia Gresik Menggunakan Beton Prategang”*.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang tidak akan pernah cukup jumlahnya kepada:

1. Papa, Mama, dan Adik penulis atas segala dukungan, semangat, dan motivasi yang tidak terbatas serta waktu yang diberikan untuk mendampingi pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA dan Prof Tavio, ST., MT., Ph.D atas bimbingan yang selama ini diberikan, dan juga kesediaan waktu, dukungan, arahan, ilmu maupun segala modul yang berkaitan dengan Tugas Akhir yang telah diberikan kepada penulis.
3. Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri, ST., MT. selaku dosen wali atas masukan dan saran seputar pembelajaran di kampus sejak tahun pertama sampai terakhir, dan kesediaan menjadi pendengar yang baik saat penulis mengalami masalah.
4. Pak Wira, pembimbing kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik untuk data-data struktur yang tentunya sangat dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Mas Dwi, Mas Eric, Danang, Sevi dan Widya untuk arahan, bimbingan dan kesabarannya saat mengajarkan permodelan SAP2000 untuk struktur yang dipakai maupun materi yang kurang dimengerti.



6. Firna, Finna, Anita, Galih, Regi, Sisy, Cica, Rasti, Andre, dan Mas Ega atas dukungan, motivasi, maupun waktu luang yang diberikan untuk mendampingi penulis selama pengerjaan tugas akhir.
7. Teman-teman seperjuangan S-54 (2011) maupun semua rekan mahasiswa Teknik Sipil ITS lainnya.

Tentunya dalam Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu dengan tangan terbuka penulis menerima kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Mei 2015  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xvii</b>

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penulisan .....	7
1.4 Batasan Masalah .....	8
1.5 Manfaat Penelitian .....	9

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum .....	11
2.2 Filosofi Desain .....	12
2.3 Struktur Tangki .....	13
2.4 Kecedapan Dinding terhadap Air .....	16
2.5 Lebar Retakan dan Korosi Baja .....	19
2.6 Ketahanan Struktur Tangki Melingkar pada Beban Gempa .....	19

### BAB III METODOLOGI

3.1 Umum .....	23
3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir .....	23
3.3 Metodologi Penyelesaian Tugas Akhir .....	25
3.4 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir .....	31

## **BAB IV PEMODELAN STRUKTUR DENGAN SAP2000**

4.1 Pemilihan Model .....	33
4.2 Pemilihan Joint Struktur .....	34
4.3 Pemodelan Material .....	35
4.4 Pembebanan .....	35

## **BAB V ANALISA PERENCANAAN**

5.1 Preliminary Design .....	37
5.1.1 Data Perencanaan .....	37
5.1.2 Data Pembebanan .....	38
5.1.3 Perencanaan Tebal Dinding Circular Clarifier Tank .....	38
5.1.4 Proporsi Dinding .....	38
5.1.5 Metode Desain .....	39
5.2 Pembebanan .....	41
5.2.1 Beban Material Tersimpan .....	41
5.2.1.1 Beban Material pada Dinding Circular Clarifier Tank .....	41
5.2.2 Beban Angin .....	45
5.2.3 Beban Gempa .....	46
5.3 Analisa Struktur Utama .....	48
5.3.1 Analisa Gempa .....	
5.3.1.1 Peraturan Kategori Seismik Desain (KDS) .....	48
5.3.1.2 Menentukan Spektrum Respon Desain .....	53
5.3.1.3 Menentukan Periode Waktu Getar Alami Fundamental .....	54
5.3.1.4 Perhitungan Gaya Geser Dasar .....	56
5.3.1.5 Kontrol Drift .....	57
5.3.1.6 Kontrol Partisi Massa .....	59
5.3.2 Analisa Balok Induk .....	59
5.3.2.1 Penulangan Lentur Balok Induk 1A .....	59
5.3.2.2 Penulangan Geser Balok Induk 1A .....	61
5.3.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk 1B .....	63

5.3.2.4	Penulangan Geser Balok Induk 1B .....	65
5.3.2.5	Penulangan Lentur Balok Induk 1C .....	66
5.3.2.6	Penulangan Geser Balok Induk 1C .....	68
5.3.2.7	Penulangan Lentur Balok Induk 1D .....	70
5.3.2.8	Penulangan Geser Balok Induk 1D .....	72
5.3.3	Dinding Prategang .....	73
5.3.3.1	Tendon Prategang Dinding Circular Clarifier Tank .....	73
5.3.3.2	Momen dan Tegangan yang Terjadi di Lapangan .....	74
5.3.3.3	Kehilangan Gaya Prategang .....	75
5.3.4	Penulangan Angkur .....	85
5.3.4.1	Penulangan Lentur Angkur .....	85
5.3.4.2	Penulangan Geser Angkur .....	87
5.3.5	Penulangan Lentur Dinding Prategang .....	89
5.3.5.1	Tulangan Horizontal (arah Lx) .....	89
5.3.5.2	Tulangan Vertikal (arah Lz) .....	90
5.3.6	Penulangan Cone .....	92
5.3.6.1	Tulangan Melingkar .....	92
5.3.6.2	Tulangan Horizontal (arah Lz) .....	94
5.3.7	Penulangan Balok Melingkar .....	96
5.3.7.1	Tulangan Lentur Tumpuan $L = 177 \text{ m}$ .....	96
5.3.7.2	Tulangan Geser Balok Melingkar dengan $L = 1.77 \text{ m}$ .....	98
5.3.7.3	Tulangan Lentur Lapangan $L = 1.77 \text{ m}$ .....	99
5.3.8	Perencanaan Kolom Penyangga .....	101
5.3.8.1	Perencanaan Tulangan Longitudinal .....	102
5.3.8.2	Perencanaan Tulangan Geser .....	105
5.3.9	Kontrol Kelangsingan Kolom .....	108
5.4	Perencanaan Pondasi .....	108
5.4.1	Daya Dukung Tanah .....	108
5.4.2	Perencanaan Bored Pile .....	112
5.4.2.1	Spesifikasi Bored Pile .....	112
5.4.2.2	Menentukan Jumlah Tiang Minimum .....	112
5.4.2.3	Kontrol Daya Dukung Tanah .....	112

5.4.2.4 Kontrol Material Tiang Pancang .....	115
5.4.3 Perencanaan Poer .....	116
5.4.3.1 Dimensi dan Spesifikasi Bahan .....	116
5.4.3.2 Perencanaan Tulangan Lentur .....	117
5.4.3.3 Perencanaan Tulangan Pile Cap .....	120
5.4.3.4 Perencanaan Tulangan Geser .....	120
5.4.3.5 Kontrol Geser Pons .....	121
<b>BAB VI KESIMPULAN .....</b>	<b>125</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>127</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> <i>Properti Material Dinding Tangki .....</i>	16
<b>Tabel 5.1</b> <i>Faktor Keutamaan Gempa .....</i>	50
<b>Tabel 5.2</b> <i>Koefisien Situs Fa .....</i>	51
<b>Tabel 5.3</b> <i>Koefisien Situs Fv .....</i>	51
<b>Tabel 5.4</b> <i>Klasifikasi Situs .....</i>	52
<b>Tabel 5.5</b> <i>Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek .....</i>	52
<b>Tabel 5.6</b> <i>Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik .....</i>	52
<b>Tabel 5.7</b> <i>Nilai Parameter Periode Pendekatan <math>C_1</math> dan <math>x</math> ..</i>	55
<b>Tabel 5.8</b> <i>Koefisien <math>C_u</math> .....</i>	55
<b>Tabel 5.9</b> <i>Hail Output <math>V_t</math> dari SAP2000 .....</i>	57
<b>Tabel 5.10</b> <i>Simpangan Ijin .....</i>	57
<b>Tabel 5.11</b> <i>Kontrol Partisi Massa .....</i>	59
<b>Tabel 5.12</b> <i>Tegangan pada Dinding Circular Clarifier Tank Kondisi Kosong .....</i>	75
<b>Tabel 5.13</b> <i>Tegangan pada Dinding Circular Clarifier Tank Kondisi Terisi .....</i>	76
<b>Tabel 5.14</b> <i>Gaya Jacking .....</i>	76
<b>Tabel 5.15</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Akibat Pengangkuran .....</i>	77
<b>Tabel 5.16</b> <i>Nilai <math>\mathcal{A}</math> dan <math>L</math> tiap Segmen .....</i>	78
<b>Tabel 5.17</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan .</i>	79
<b>Tabel 5.18</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang akibat Perpendekan Elastis .....</i>	80
<b>Tabel 5.19</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Kondisi Short Term .....</i>	80
<b>Tabel 5.20</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Akibat Creep .....</i>	81
<b>Tabel 5.21</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Akibat Shrinkage</i>	82
<b>Tabel 5.22</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja .....</i>	83

<b>Tabel 5.23</b> <i>Kehilangan Gaya Prategang Kondisi Long Term</i>	83
<b>Tabel 5.24</b> <i>Rekapitulasi Tegangan Dinding Circular Clarifier Tank pada Elevasi 2.87-6.69 meter Pada Saat Awal</i>	84
<b>Tabel 5.25</b> <i>Rekapitulasi Tegangan Dinding Circular Clarifier Tank pada Elevasi 2.87-6.69 meter Pada Kondisi Long Term</i>	84
<b>Tabel 5.26</b> <i>Kebutuhan Tendon Prategang</i>	85
<b>Tabel 5.27</b> <i>Momen<sup>22</sup> pada Dinding Circular Clarifier Tank</i>	90
<b>Tabel 5.28</b> <i>Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Vertikal</i>	92
<b>Tabel 5.29</b> <i>Analisa Tanah Hasil SPT</i>	109
<b>Tabel 5.30</b> <i>Beban dan Momen Maksimum pada Kolom</i>	115

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> <i>Tampak Atas dan Potongan Melintang Primary Clarifier Tank</i> .....	5
<b>Gambar 1.2</b> <i>Desain Dinding Primary Clarifier Tank yang akan Dimodifikasi</i> .....	6
<b>Gambar 1.3</b> <i>Contoh Clarifier Tank yang Sudah Siap Beroperasi</i> .....	6
<b>Gambar 2.1</b> <i>Momen Lendutan pada Tangki dengan Dinding Melingkar</i> .....	14
<b>Gambar 2.2</b> <i>Momen Lendutan pada Tangki dengan Dinding Melingkar berbentuk Slide</i> .....	15
<b>Gambar 2.3</b> <i>Lekukan “Kaki Gajah” pada Tangki, Gempa Northridge, California</i> .....	20
<b>Gambar 3.1</b> <i>Flowchart Perancangan Struktur Tangki Lingkaran Beton Prategang</i> .....	23
<b>Gambar 4.1</b> <i>Hasil Permodelan pada SAP2000</i> .....	33
<b>Gambar 4.2</b> <i>Tampilan “extrude view” Circular Tank</i> .....	34
<b>Gambar 4.3</b> <i>Dasar Struktur Circular Clarifier Tank dengan Joint Jepit</i> .....	35
<b>Gambar 4.4</b> <i>Arah Pembebanan pada Circular Clarifier Tank</i> .....	36
<b>Gambar 5.1</b> <i>Tampak samping dinding utama yang akan dimodifikasi</i> .....	37
<b>Gambar 5.2</b> <i>Pembebanan Akibat Angin terhadap Tinggi Circular Clarifier Tank</i> .....	46
<b>Gambar 5.3</b> <i>Respon Spectrum Zona Gempa 2</i> .....	47
<b>Gambar 5.4</b> <i>Input SAP2000</i> .....	48
<b>Gambar 5.5</b> <i>Peta Lokasi Pembangunan Circular Clarifier Tank, Kabupaten Gresik Jawa Timur</i> .....	49
<b>Gambar 5.6</b> <i>Peta Ss Provinsi Jawa Timur</i> .....	49
<b>Gambar 5.7</b> <i>Peta SI Provinsi Jawa Timur</i> .....	50
<b>Gambar 5.8</b> <i>Spektrum Respons Desain</i> .....	54
<b>Gambar 5.9</b> <i>Simpangan Maksimum dari SAP2000</i> .....	58
<b>Gambar 5.10</b> <i>Perencanaan Titik Angkur pada Tank</i> .....	77



<b>Gambar 5.11</b> <i>Penampang Dinding Circular Clarifier Tank</i>	89
<b>Gambar 5.12</b> <i>Tulangan Vertikal dan Horizontal Dinding Pratekan</i>	92
<b>Gambar 5.13</b> <i>Tulangan Lentur Lapangan Balok Melingkar</i>	101
<b>Gambar 5.14</b> <i>Penampang Kolom dan Balok</i>	102
<b>Gambar 5.15</b> <i>Hasil Output PCACOL</i>	103
<b>Gambar 5.16</b> <i>Grafik Hubungan N-SPT terhadap Kedalaman Tanah</i>	111
<b>Gambar 5.17</b> <i>Konfigurasi Letak Titik Tiang Pancang</i>	113
<b>Gambar 5.18</b> <i>Bentuk dan Dimensi Poer</i>	117

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pada era modern ini, struktur pada bangunan sipil cenderung mengarah ke struktural yang lebih ramah ekonomi melalui perkembangan metode desain dan penggunaan material dengan mutu lebih tinggi. Hal ini menghasilkan penurunan dimensi menyilang dan penghematan berat dimensi. Beberapa pengembangan secara khusus berperan penting dalam bidang beton bertulang, dimana beban mati merepresentasikan bagian penting dari total beban. Pada gedung berlantai banyak, berapapun penghematan yang terjadi dalam hal ketebalan member, jika dikalikan dengan banyaknya lantai, dapat menghasilkan penghematan yang berarti pada total tinggi gedung, beban pada pondasi, panjang dari pipa elektrik, dan permukaan partisi serta dinding. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Penghematan yang signifikan dapat dicapai dengan menggunakan beton mutu tinggi dan baja yang merupakan penghubung dengan metode desain terkini, dimana diijinkan penaksiran yang akurat dari kekuatan member. Namun tetap terdapat batasan bagi pengembangan ini, berdasarkan adanya hubungan yang saling berkaitan antara retakan dan defleksi pada beban. Penggunaan secara efisiensi pada baja mutu tinggi dibatasi oleh adanya fakta bahwa jumlah retakan yang terjadi (lebar dan jumlah retakan) masih proporsional terhadap tegangan dan juga tekanan pada baja. Meskipun jumlah retakan yang sedikit pada umumnya masih ditoleransi pada struktur beton, retak yang berlebihan tentunya tidak diinginkan dan dapat menyebabkan korosi pada struktur beton bertulang, hal ini secara visual tampak membahayakan, serta memicu kegagalan dini akibat tegangan diagonal. Penggunaan material mutu tinggi dibatasi oleh kekhawatiran akan adanya defleksi, khususnya ketika analisa murni digunakan. Member yang dimensinya langsing

memungkinkan adanya defleksi yang secara fungsi maupun visual tidak dapat ditoleransi. Kondisi ini semakin lama diperburuk dengan adanya retakan, yang mengurangi kekakuan tekuk dari member. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Fitur yang terbatas dari beton bertulang biasa ini secara perlahan dapat teratasi oleh pengembangan beton prategang. Beton prategang dapat didefinisikan sebagai salah satu yang telah memperkenalkan tegangan internal dalam skala besar dan distribusi dari tegangan yang dihasilkan dari pemberian beban eksternal yang dinetralkan hingga mencapai derajat yang diinginkan. Beton pada dasarnya merupakan material yang mudah memadat, dengan kuat tegangnya yang cenderung lemah. Prategang mengaplikasikan pemampatan pada member yang kemudian mengurangi gaya tegang yang tidak diinginkan dan mencegahnya untuk muncul. Retakan akibat beban servis dapat diminimalkan atau bahkan dicegah seluruhnya. Penerimaan untuk nilai defleksi mungkin jumlahnya terbatas, pada kenyataannya member dapat didesain untuk memiliki defleksi bernilai nol dibawah pengaruh kombinasi efek dari beban servis dan gaya prategang. Defleksi dan kontrol keretakan, didapat melalui prategang, memberi peluang bagi para insinyur untuk dapat menciptakan baja mutu tinggi yang efisien dalam bentuk utas, kawat, ataupun batang, sebagai penghubung dengan beton yang kekuatannya lebih dari normal. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Oleh karena itu, prategang memberikan hasil perkembangan secara menyeluruh pada performa struktur beton untuk beban biasa dan bentang dan memperluas batasan penerapan jauh melebihi beton bertulang biasa, menghasilkan tidak hanya bentang yang lebih panjang dari yang pernah terpikirkan, namun juga membuka peluang adanya inovasi-inovasi bentuk struktur. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Beton merupakan bahan yang ideal untuk struktur yang berhubungan dengan teknik lingkungan seperti tempat penyimpanan air dan tangki pengolahan limbah. Oleh sebab itu beton pratekan maupun beton prategang merupakan material

utama yang dipilih untuk struktur dengan penggunaan seperti tersebut di atas. Meskipun tangki dengan bentuk lingkaran secara struktural adalah pilihan terbaik *untuk* konstruksi tangki, bentuk bujur sangkar justru yang lebih sering dipakai. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Salah satu penggunaan struktur beton bertulang yang biasa digunakan ialah untuk membangun tangki penampung bahan. Bahan yang ditampung pada tangki ini meliputi padatan (contoh: semen sama struktur shilo) maupun cairan (contoh: air, air limbah). Bentuk dari tangki ini sendiridibedakan menjadi 2, yakni dengan bentuk segi empat maupun dalam bentuk lingkaran.

Tangki lingkaran beton prategang biasanya merupakan kombinasi terbaik antara material dan bentuk struktural yang menampung cairan dan padatan. Kinerjanya selama setengah abad yang lalu menunjukkan bahwa, apabila didesain dengan keahlian dan ketelitian yang baik, struktur tersebut dapat berfungsi selama 50 tahun atau lebih tanpa mengalami masalah perawatan yang signifikan. (*Edward G. Navy & Bambang Suryoatmono, 2000*).

Dalam suatu pembangunan tangki lingkaran beton, terutama jika tangki tersebut berfungsi untuk menampung cairan dalam skala besar, tentunya perkuatan struktur harus dilakukan supaya tidak terjadi retakan maupun kegagalan struktur akibat beban-beban yang diterima. Selain itu tangki yang berisikan cairan mempunyai resiko lebih besar saat terkena guncangan gempa dibandingkan tangki yang berisi zat padat. Hal ini dikarenakan momentum cairan yang menumbuk dinding saat terjadinya guncangan bernilai lebih besar dan fatal. (*Tavio, 2014*).

Penggunaan beton bertulang sebagai struktur utama tangki air dinilai kurang menguntungkan karena memungkinkan adanya penyusutan material maupun retakan yang dapat memicu robohnya bangunan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mencegah hal tersebut adalah dengan menggunakan beton prategang sebagai pengganti beton bertulang.

Keuntungan utama di dalam kinerja dan ekonomi dari penggunaan prategang lingkaran pada tangki beton dibandingkan perkuatan regular lainnya adalah:

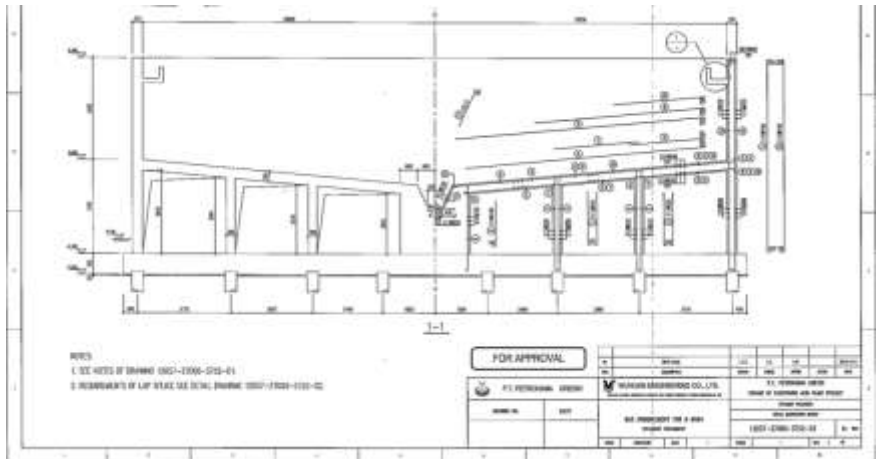
1. Persyaratan bahwa tidak ada retak yang diijinkan

Tegangan tekan melingkar yang ditimbulkan oleh kawat prategang eksternal yang melingkar di sekeliling dinding tangki adalah cara alami untuk mengeliminasi retak pada dinding eksterior akibat beban cairan, padatan atau gas internal yang ditampung di dalam tangki. Cara lain pemberian prategang melingkar adalah dengan menggunakan tendon individual yang diangker di suatu penyangga. (*Edward G. Nawy & Bambang Suryoatmono, 2000*).

2. Perlindungan dinding tangki terhadap korosi yang ditimbulkan oleh cairan (air limbah) di dalam tangki

Dalam tugas akhir ini penyusun akan memodifikasi dinding **Primary Clarifier Tank** milik PT. Petrokimia Gresik, dengan diameter 20.35 meter dan tinggi 7.4 meter yang desainnya dapat dilihat pada **Gambar 1.1** dan **Gambar 1.2**, menggunakan beton prategang karena penggunaan struktur beton bertulang sebagai struktur utama tangki air dinilai kurang menguntungkan dan memungkinkan adanya penyusutan material maupun retakan. Selain itu pada konstruksi bangunan beton yang difungsikan sebagai gudang penyimpanan cairan (dalam kasus ini, cairan limbah), ketebalan struktur beton terhadap terjadinya perembesan merupakan persyaratan dasar yang wajib dipenuhi. Selain itu struktur ini nantinya akan mempunyai ketahanan yang memuaskan terhadap beban gempa, mengingat Indonesia terletak di daerah dengan tingkat aktivitas dengan gempa bumi tinggi. **Gambar 1.2** memberikan gambaran tentang struktur clarifier tank yang sudah jadi dan siap beroperasi.

**Gambar 1.1** *Tampak Atas dan Potongan Melintang Primary Clarifier Tank*  
(sumber: Arsip Proyek Revamping PAF PT. Petrokimia Gresik)



**Gambar 1.2** Desain Dinding Primary Clarifier Tank yang akan Dimodifikasi  
 (sumber: Arsip Proyek Revamping PAF PT. Petrokimia Gresik)



**Gambar 1.3** Contoh Clarifier Tank yang Sudah Siap Beroperasi  
 (sumber: [www.enviroengineers.in](http://www.enviroengineers.in))

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

Permasalahan utama:

Bagaimana merancang modifikasi Primary Clarifier Tank yang semula menggunakan beton bertulang menjadi beton prategang?

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana Menghitung struktur dinding Primary Clarifier Tank saat modifikasi struktur menjadi struktur prategang?
2. Bagaimana besarnya kehilangan gaya prategang yang nantinya akan terjadi?
3. Bagaimana cara menentukan jumlah strand pada tendon yang akan digunakan?
4. Bagaimana perhitungan pondasi pada Primary Clarifier Tank?
5. Bagaimana memodelkan struktur dinding tangki yang menggunakan beton prategang pada program SAP?
6. Bagaimana menggambar struktur sesuai hasil perhitungan menggunakan program autocad?

## **1.3 Tujuan Penulisan**

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah:

Tujuan utama:

Merancang modifikasi dinding Primary Clarifier Tank yang semula menggunakan beton bertulang menjadi beton prategang.

Detail tujuan:

1. Mampu memodifikasi dinding Primary Clarifier Tank yang semula menggunakan beton bertulang menjadi beton prategang menggunakan metode pasca tarik.



2. Mampu melakukan perhitungan besarnya kehilangan gaya prategang yang terjadi.
3. Mampu menentukan jumlah strand pada tendon yang akan digunakan.
4. Mampu melakukan perhitungan pondasi pada Primary Clarifier Tank.
5. Mampu memodelkan struktur dinding Primary Clarifier Tank yang menggunakan beton prategang pada program SAP.
6. Mampu menggambar struktur Primary Clarifier Tank sesuai hasil perhitungan menggunakan program autocad.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sampai batasan-batasan sebagai berikut:

1. Modifikasi hanya dilakukan pada struktur dinding Primary Clarifier Tank yang semula beton bertulang menjadi menggunakan beton prategang.
2. Perhitungan hanya dilakukan saat struktur dinding telah dimodifikasi menggunakan beton prategang. Tidak diberlakukan perbandingan antara struktur bertulang dengan struktur prategang.
3. Tidak memperhitungkan segi pembiayaan pada struktur.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Sebagai referensi bagi perencana yang berminat merancang Primary Clarifier Tank yang aman dari ancaman keretakan maupun terjadinya kegagalan struktur.
2. Referensi perbandingan bagi perencana Primary Clarifier Tank apabila ingin menggunakan struktur beton bertulang maupun struktur beton pratekan.
3. Perencana dapat memperhitungkan dengan tepat aspek-aspek penting pada struktur, seperti metode prategang pra

tarik atau pasca tarik, ataupun jumlah strand yang nantinya dipakai pada tendon.

***"Halaman ini sengaja dikosongkan"***



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Beton merupakan material ideal untuk struktural yang berhubungan dengan lingkungan seperti penyimpan air atau pengolah air limbah. Beton bertulang maupun prategang secara rutin telah menjadi pilihan utama. Bentuk lingkaran dapat dikatakan merupakan pilihan struktural terbaik untuk tangki, karena tangki berbentuk persegi dinilai lebih sesuai untuk proses material. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

Pada konstruksi bangunan penyimpanan cairan dengan beton sebagai penyusunnya, faktor ketebalan dinding terhadap terjadinya rembesan air merupakan hal yang paling vital. Agregat dan semen harus dalam takaran yang pas guna mencapai kualifikasi beton mutu tinggi. Kemampuan menyerap air dari beton sangat tergantung dari rasio pencampuran semen dan air. Jika peningkatan pada rasio campuran semen dan air secara otomatis berimbas pada kemampuan penyerapan air, pengurangan rasio campuran juga dapat menyebabkan pengikatan material terhambat dan hal itu juga berarti berbahaya. Campuran harus didesain dengan cermat supaya dapat menghasilkan beton dengan penyerapan air yang tinggi. Proses melubangi dan memisahkan dari agregat harus diminalkan karena hal ini mengakibatkan terjadinya kebocoran pada struktur tangki air. (*M. Bhandari & Karan Deep Singh, 2014*).

Menurut *Abdelaziz Abdo Rashed (1998)*, desain struktural untuk struktur yang berhubungan dengan lingkungan ini tidak dijelaskan pada pedoman standar desain Kanada. Variasi dari berbagai sumber biasanya digunakan untuk mengatasi keterbatasan ini. ketika semua sumber tampaknya menunjukkan keamanan, ketahanan terhadap kebocoran dan keawetan tangki, berbagai standar desain mensyaratkan detail perbedaan pada

perkuatan dan beton. Perbedaan yang paling signifikan terjadi pada desain dari tangki beton bertulang dan beton prategang. Jika dahulu gaya tegangan bernilai tertentu pada beton diijinkan, sisa dari gaya pemadatan dibutuhkan pada akhir desain. Sedikitnya pihak yang setuju dengan peraturan-peraturan penting yang tersedia, menyebabkan seorang profesional kadang harus mempunyai solusi rasional sendiri.

Batas daya guna merupakan batasan paling penting bagi tangki dan mereka menciptakan desain yang tidak berubah-ubah. Karena hal ini, batas kebocoran dengan sendirinya menyebabkan diciptakannya batasan yang lain seperti defleksi. Desain terbaru ini melakukan percobaan untuk mengontrol kebocoran dengan cara mencegah retakan pada tangki beton prategang atau membatasi retakan hingga lebar tertentu pada tangki beton bertulang. Berbagai variasi desain yang ada menghasilkan lebar retakan yang berbeda dan berujung pada prediksi yang berbeda pula.

## 2.2 Filosofi Desain

Pada thesis yang dikerjakan oleh *Abdelaziz Abdo Rashed*, tahun 1998, beliau menyertakan tentang filosofi desain dari tangki air ini. Merujuk pada kebutuhan untuk menciptakan suatu peraturan sebagai pedoman desain struktur yang berhubungan dengan lingkungan, ACI menciptakan komite 350 pada tahun 1964. Sejak laporan pertama yang diterbitkan pada tahun 1971, laporan komite 350 telah menjadi rujukan yang paling sering dipakai untuk desain tangki beton bertulang di Kanada, USA, dan mungkin juga seluruh dunia. Filosofi dasar yang dipakai adalah pembatasan pada gaya beton yang diprategangkan dibawah beban kerja normal. Hal ini sukses dilakukan, dan secara eksplisit, melalui prosedur desain beban kerja pada awal perancangan laporan komite. Pada laporan-laporan selanjutnya yang dibuat, dikembangkan prosedur modifikasi batas kekuatan. ACI 350 mendukung kedua prosedur tersebut dan telah mengkalibrasi pada

desain yang mempunyai kemiripan namun tidak sepenuhnya sama.

Modifikasi prosedur batas kekuatan diperkenalkan oleh ACI 350 sebagai respon pada perubahan pendidikan di kalangan insinyur Amerika. Pertengahan tahun 1970, universitas di Amerika Utara menghentikan pembelajaran tentang desain beban kerja sebagai balasan dari desain batas kekuatan. Sebagai akomodasi bagi desainer yang tidak familier dengan prosedur desain beban kerja, komite 350 memperkenalkan faktor beban tambahan yang disebut “koefisien ketahanan bersih”. Permintaan dari persamaan batas kekuatan secara perlahan meningkat. Seorang desainer menggunakan kekuatan batas normal akan berujung pada quantitas baja yang nantinya menghasilkan beban servis memuaskan pada perkuatan.

Selama beberapa tahun, Portland Cement Association (PCA) telah mempublikasikan laporan tentang desain tangki persegi maupun ingkaran berbahan beton pratekan (PCA 1942, 1963, 1981, dan 1993). Mereka menyediakan tabel yang membantu analisis struktural dari berbagai variasi tangki. Setelah kemunculan dari ACI 350, laporan PCA cenderung mendukung rekomendasi dari ACI 350. Perbedaan paling penting pada dokumen PCA adalah penetapan pada tebal dinding minimum untuk tangki berbentuk lingkaran. Sebagai tambahan untuk ketebalan minimum yang berdasar pada konsturksi, PCA menyarankan bahawa ketebalan dinding haruslah pada arah melingkar, dinding tidak akan retak saat terkena beban normal. PCA juga menyertakan perhitungan yang sangat jelas untuk penyusutan beton dalam kalkulasi.

### 2.3 Struktur Tangki

*Riyaz Sameer, Prof A. R. Mundhada & Snehal Metkar (2012)* menyatakan bahwa pada umumnya desain dari tangki air dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

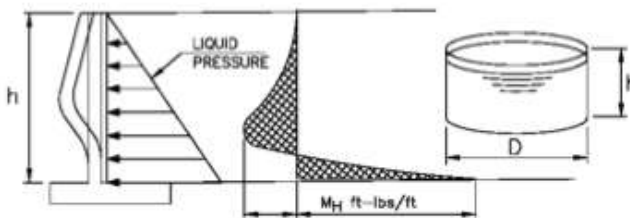
- Tangki yang terdapat pada permukaan tanah
- Tangki di bawah tanah

- Tower tangki dengan ketinggian beberapa meter diatas tanah

Pada tugas akhir ini, tangki air yang digunakan merupakan tangki dengan jenis pertama, yaitu terletak di atas permukaan tanah.

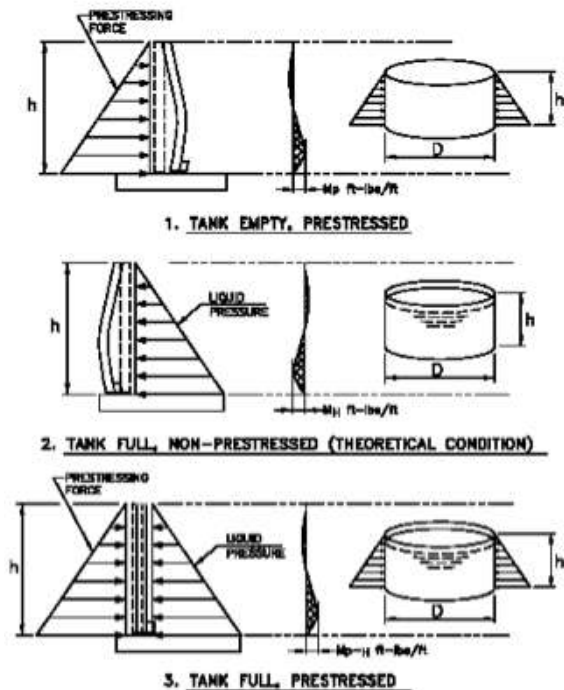
### 2.2.1 Desain Dinding Tangki

Banyak dari desain terdahulu tangki dengan kawat melingkar (dengan range antara 500.000-1.000.000 gal) mempunyai dinding yang terpasang pada dasar lantai. Dengan adanya 2 elemen ini terpasang bersamaan, terjadilah pergerakan-pergerakan yang tidak dapat dicegah. Pergerakan ini berasal dari penyusutan, prategang awal, tekanan dari muatan cairan, rangkai, efek suhu, pemulihan penyusutan, dan beban gempa. Sebagai hasilnya, momen vertikal yang terjadi pada dinding relatif besar, tapi untuk tangki berukuran lebih kecil (diameter kurang lebih 30 meter), hal ini mudah diatasi dengan menambahkan ketebalan dari dinding beton dan menyediakan batangan baja secara vertikal. Hal ini diketahui dari awal bahwa jika menyediakan sambungan dasar berbentuk slide pada dinding akan efektif mengurangi momen lendutan. (Daniel J. McCarthy & Laras F. Balck, 2012). Konsep tersebut dijelaskan pada **Gambar 2.1** dan **Gambar 2.2** berikut:



**Gambar 2.1** Momen Lendutan pada Tangki dengan Dinding Melingkar  
(sumber: Daniel J. McCarthy dan Lars F. Balck)





**Gambar 2.2** Momen Lendutan pada Tangki dengan Dinding Melingkar berbentuk Slide  
(sumber: Daniel J. McCarthy dan Lars F. Balck)

### 2.2.2 Material Dinding

Journal dari Daniel J. McCarthy & Laras F. Balck, 2012 menyediakan rangkuman dari evolusi pada desain material dinding pada **Tabel 2.1**. Pada awalnya tangki didesain mengacu pada section 201 & 406 pada laporan gabungan ACI/STM bulan Juni 1940 berjudul “Rekomendasi dari Komite Gabungan pada Spesifikasi Standar untuk Beton dan Campuran”. Persyaratan ini didukung dengan spesifikasi konstruksi yang mendetail. Desain tangki pada masa kini mengacu pada peraturan ACI 350, spesifikasi ACI 301

(yang akan segera digantikan oleh ACI 350), sebagaimana pada standar industri seperti AWWA D110, dan laporan semacam ACI 372.

**Tabel 2.1** *Properti Material Dinding Tangki*

SUMMARY: TANK WALL MATERIAL PROPERTIES EVOLUTION		
COMPONENT	EARLY	MODERN
Concrete	$f'_c = 3500\text{-}5000$ psi (24-34 MPa)	$f'_c = 4000\text{-}5000$ psi (28-34 MPa)
Shotcrete	Dry-mix $f'_c = 4500$ psi (31 MPa)	Wet-mix $f'_c = 4500$ psi (31 MPa)
Diaphragm	ASTM A366	ASTM A1008
Prestressing Wire	ASTM A227 $f_{pu} = 225$ ksi (1550 MPa)	ASTM A821 $f_{pu} = 210$ ksi (1450 MPa)
Elastomeric Bearing Pads	Natural Rubber or Neoprene 40-50 Durometer	Natural Rubber or Neoprene 40-50 Durometer
Seismic Restraint Base Cables	Roebing Galvanized Strand	ASTM A416 Galvanized or Epoxy Coated Seven Wire Strand

(sumber: Daniel J. McCarthy dan Lars F. Balck)

## 2.4 Kecedapan Dinding terhadap Air

### 2.4.1 Kriteria Kedap Air

Kedap air merupakan persyaratan penting bagi struktur yang berisi air. Tidak ada struktur beton yang sempurna kedap terhadap air. Beberapa kehilangan air terjadi melalui beton yang tidak retak berdasarkan pada penyerapan air, retakan, sambungan, hubungan kerapatan dan cacat. Kadar penyerapan air yang normalnya diterapkan pada tangki penampung air akan menghasilkan kehilangan air yang sangat kecil (ACI 350/AWWA 400, 1993). Di sisi lain, sambungan mempunyai potensi besar akan terjadinya kebocoran. Oleh sebab itu sambungan membutuhkan perhatian lebih pada saat proses desain maupun pengerjaannya dibandingkan area lain. ACI 350/AWWA 400 (1993) menyatakan bahwa sambungan yang diperluas cenderung lebih besar kemungkinan mengalami kebocoran dibandingkan sambungan kontraksi atau kontrol. Dekorasi yang mengacu pada materi yang berbeda yang dimasukkan, disisipkan, atau dilewatkan beton seperti memasukkan pipa. Proses dekorasi ini berpotensi menjadi jalan bagi air untuk mengikuti alur permukaan sentuh antar beton. Kriteria kedap air biasanya mengenali

potensi ini dengan tidak mengijinkan adanya kebocoran yang terlihat pada desain. (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*).

*Bomhard (1986)* menjelaskan perbedaan antara kedap air lokal dan global. Untuk kedap lokal, permukaan terluar dari kontainer tidak memunculkan lokasi yang basah. Tidak adanya lokasi yang basah ini membuktikan bahwa air pasti berevaporasi lebih cepat daripada kemampuan menembus pori beton. Untuk kedap global, rasio kebocoran yang spesifik tidak boleh dilewati. Beliau menyatakan bahwa persyaratan kedap air bisa didapat dari 1 maupun kombinasi dari 3 metode, yaitu:

- Membatasi tekanan tegang pada beton
- Memberi spesifikasi minimum untuk zona pemampatan beton
- Membatasi lebar dari retakan

Karena tegangan pada beton kekuatannya bervariasi, ia menganggap hal itu tidak dapat diukur. Bomhard mendefinisikan 3 region pada diagram moment beban. Pada region 1, ada retakan terpisah. Di region 2 ada zona pemampatan dengan jumlah kecil. Dan pada region 3 terdapat zona pemampatan besar. Prategang mampu mengatasi kebocoran pada 2 region pertama. Untuk region 3 dengan zona pemampatan besar, Bomhard menyarankan bahwa kerapatan akan dapat tercapai tanpa tekanan tegangan maupun lebar retakan dan kedap air akan lebih dipercaya. 2 persamaan diciptakan untuk menghitung rasio kebocoran ( $Q$ ) melalui beton yang tidak retak maupun retak, yaitu:

$$Q = \frac{k}{x} A \frac{DP}{h}$$

$$Q = \frac{\bar{k}}{x} w_{eff}^3 \frac{DP}{h}$$

dimana:

$k$  = koefisien permeabilitas untuk beton ( $m^2$ )

$\bar{k}$  = koefisien permeabilitas untuk keretakan (non-dimensional)

$\eta$  = viskositas cairan dinamis ( $1.06 \times 10^{-3}$  Nsec/m<sup>2</sup> untuk air)  
 $P$  = gaya tekan melalui dinding  
 $h$  = tebal dinding (m)  
 $A$  = aliran melalui permukaan (m<sup>2</sup>)  
 $L$  = panjang retakan (m)  
 $w_{eff}$  = lebar efektif dari retakan (m), dengan perhitungan:

$$w_{eff} = \sqrt[3]{2 \frac{(w_1 w_2)^2}{w_1 + w_2}}$$

dimana  $w_1$  dan  $w_2$  adalah lebar retakan dari dalam sampai luar dari permukaan dinding

#### 2.4.2 Pemulihan Sendiri oleh Beton

kemampuan retakan kecil pada beton untuk pulih sendiri akibat adanya uap air disebut pemulihan sendiri oleh beton. Pemulihan sendiri mengurangi dan bahkan kadang menghentikan kebocoran melalui retakan (*Abdelaziz Abdo Rashed, 1998*). Pada tahun 1997, *Bick* melakukan investigasi penerobosan cairan melalui retak pada beton. Beliau menguji 2 kolom sederhana dari beton prategang sepanjang 5m dibawah 4 poin beban. Kolom diberi tekanan hingga terbentuk retakan. Cairan yang mengalir melalui retakan ini diperiksa. Pemeriksaan terhadap penerobosan dari 8 cairan berbeda melalui retakan, yang terbentuk melalui tegangan aksial, pada prisma beton berukuran 200 x 200 x 700 mm. Hal ini bertujuan bahwa kebocoran yang terjadi pada retakan dengan lebar mencapai 0.2mm dapat diperkirakan untuk slot paralel dengan dinding yang dikalikan dengan faktor reduksi. Hasil tes menyarankan bahwa faktor bervariasi antara 0.015 sampai 0.067 dengan rata-rata 0.04. Faktor ini lebih tinggi pada retakan yang tidak diberi diperkuatan (0.004 sampai 0.136 dengan rata-rata 0.085). Hasil ini berlaku untuk cairan yang tidak bereaksi dengan adonan semen keras dan tidak mengandung partikel terlarang.

Pada kasus air, aliran air diperkirakan lebih kecil untuk penyembuhan sendiri dari retakan.

## 2.5 Lebar Retakan dan Korosi Baja

*Abdelaziz Abdo Rashed* pada tahun 1998 menyatakan spesifikasi desain dan kode pada dasarnya telah berhubungan dengan ketahanan dan korosi perkerasan dengan lebar retakan. Batasan lebar retakan dijabarkan dan diciptakan formula untuk menghitung lebar retakan. Formula ini biasanya menghasilkan perbedaan lebar retakan untuk kasus yang sama seperti yang dilakukan sebelumnya. *Beeby (1983)*, melakukan survey tentang objek ini namun dilakukan di beberapa kota di Eropa dan Amerika Utara. Beliau menyimpulkan bahwa lebar retakan memiliki efek yang kecil pada korosi dan parameter yang paling berpengaruh untuk mengontrol korosi adalah kualitas dari beton itu sendiri. Perhitungan detail dari lebar retakan sebagai kontrol dari korosi dalam beberapa rekomendasi desain dianggap tidak perlu. *Brondum- Nielsen (1984)* berpendapat bahwa retak paralel pada tendon lebih berbahaya dibandingkan retak tegak lurus pada tendon, dan tipe ini biasanya tidak dilindungi oleh prategang. *Naaman (1984)* juga menyatakan korosi dapat diakibatkan oleh berbagai hal, dimana sebagian besar diantaranya tidak membutuhkan retakan untuk terjadi dan perlindungan terbaik dari korosi pada perkuataan adalah beton dengan mutu yang baik. Kesimpulan yang paling baik mungkin disampaikan oleh *Mathieu (1984)* yaitu “oleh karena pondasi paling dasar untuk kriteria kemampuan retak telah menghilang, pemikiran-pemikiran baru pada subjek ini sangat diperlukan”.

## 2.6 Ketahanan Struktur Tangki Melingkar pada Beban Gempa

*M. R. Kianoush, W. K. Tso & M. Hamidi*, di jurnalnya tahun 2002, menyatakan bahwa telah dilakukan penelitian matang mengenai perilaku gempa terhadap tangki melingkar. Bagaimanapun juga, perilaku tangki beton melingkar dengan

material cairan di dalamnya berbeda dengan tangki melingkar bermaterial baja. Tipe kegagalan yang paling sering terjadi adalah lekukan dari dinding yang berada dekat bagian dasar yang biasa disebut lekukan “kaki gajah”, contohnya dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Penyebab paling banyak dari kegagalan ini ialah momen tumbukan yang besar karena efek hidrodinamik. Pada tangki beton, gaya hidrodinamik yang besar mampu berkembang daerah dengan tekanan tinggi yang dapat berujung pada beberapa retakan dan kebocoran yang memicu kegagalan konstruksi tangki.



**Gambar 2.3** *Lekukan “Kaki Gajah” pada Tangki, Gempa Northridge, California  
(sumber: [www.ief.uprm.edu](http://www.ief.uprm.edu))*

Pada jurnal yang ditulis oleh *D. K. Landge & Dr. P. B. Murnal* tahun 2014, berkaca pada pengalaman terdahulu yang kurang menyenangkan, tangki air umumnya runtuh atau mengalami kerusakan berat akibat gempa di seluruh penjuru

dunia. Kejadian luar biasa ini menunjukkan bahwa sistem pendukung untuk tangki air tingkat kepentingannya lebih tinggi dibandingkan tangki dengan desain lainnya. Berdasarkan pengamatan saat terjadinya gempa menghasilkan beberapa penyebab seperti desain yang kurang pas dari sistem pendukung, kesalahan memilih sistem pendukung. Air merupakan zat penting dalam hidup. Oleh karena itu penahan air dinilai penting terutama pada masa sekarang dimana air adalah komoditas utama. Desain terakhir dari tangki air melingkar dengan sistem pendukung tipe palang sangatlah rentan terhadap beban lateral akibat gempa. Gempa bumi Bhuj tahun 2001 menyajikan ilustrasi dari kelemahan ini dimana banyak tangki air mengalami kerusakan hingga radius 100 km dari pusat gempa.

***"Halaman ini sengaja dikosongkan"***



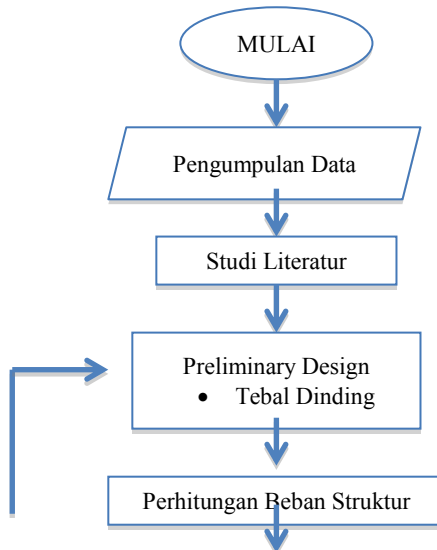
## BAB III METODOLOGI

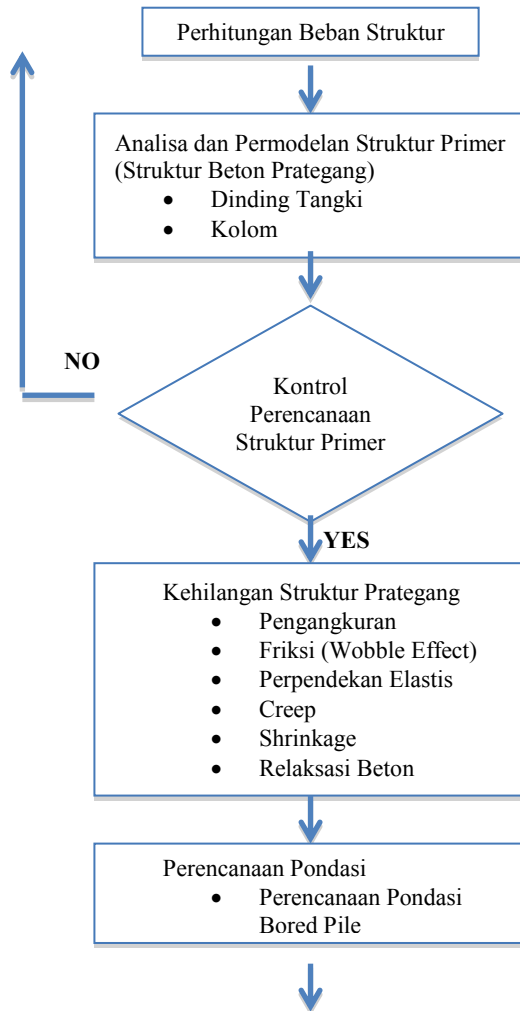
### 3.1 Umum

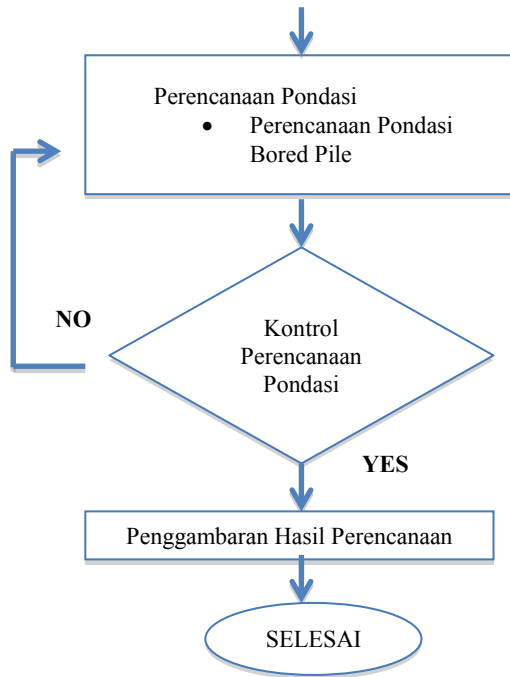
Sebelum mengerjakan Tugas Akhir, maka perlu disusun langkah-langkah pengerjaan sesuai dengan uraian kegiatan yang akan dilakukan. Urutan pelaksanaannya dimulai dari pengumpulan literatur dan pedoman perancangan, sampai mencapai tujuan akhir dari analisa struktur yang akan disajikan.

### 3.2 Bagan Alir Penyelesaian Tugas Akhir

**Gambar 3.1** menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk mengerjakan perancangan struktur tangki lingkaran beton prategang:







**Gambar 3.1** *Flowchart Perancangan Struktur Tangki Lingkaran Beton Prategang*

### 3.3 Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

Dari diagram alur di atas dapat dijelaskan metodologi yang dipakai dalam penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

#### 3.3.1 Pengumpulan Data

Mencari data umum bangunan dan data tanah dari Primary Clarifier Tank. Data umum bangunan data tanah:

- Terlampir

Adapun Tugas Akhir ini akan memodifikasi perencanaannya menggunakan material dengan data-data sebagai berikut:

1. Nama Struktur : Primary Clarifier Tank
2. Lokasi : Proyek Revamping PAF PT.  
Petrokimia, Gresik
3. Fungsi : Tangki Pengolahan Air Limbah
4. Kondisi Tanah : Tanah Lunak
5. Tinggi Struktur : 7.4 meter
6. Diameter Dinding : 20.35 meter
7. Tebal Dinding : 0.35 meter
8. Jumlah : 1 buah
9. Material Struktur : Beton Prategang
10. Zona Gempa : 2

### 3.3.2 Preliminary Desain

Preliminary design dari tugas akhir ini bertujuan untuk memodifikasi ketebalan dinding utama Circular Clarifier Tank menjadi menyesuaikan dengan pemakaian beton prategang nantinya. Metode desain perencanaan tebal dinding menggunakan rumusan berdasarkan *Portland Cement Asosiation* dari buku "*Design and Construction of Silos and Bunkers*" karangan *Sargis S. Safarian*.

Perencanaan tebal dinding Circular Clarifier Tank tidak harus mencapai ketebalan yang lebih kecil dibanding desain semula (35 cm). Ketebalan menyesuaikan dengan mutu beton yang akan digunakan.

### 3.3.3 Perhitungan Beban Struktur

Melakukan perhitungan beban struktur sebagai berikut:

1. Beban Mati, Beban Hidup, Beban Angin, Beban Gempa, Beban Muatan Air

Berdasarkan SNI 1727-2012 pasal 2.3.2, kombinasi pembebanan yang akan dimasukkan ke program SAP2000:

- 1.4D
- 1.2D + 1.6L

- $1.2D + 0.5W$
- $1.2D + 1.0W + L$
- $1.2D + 1.0E + L$
- $0.9D + 1.0W$
- $0.9D + 1.0E$

### 3.3.5 Analisis dan Permodelan Struktur

Melakukan permodelan struktur menggunakan program SAP yang direncanakan sebagai struktur ruang 3 dimensi untuk mendapatkan reaksi dan gaya yang terdapat pada struktur utama.

### 3.3.6 Struktur Circular Clarifier Tank

#### 3.3.6.1 Desain Penampang

Menurut ACI 372R-00 *pasal 2.3.3.* tentang proporsi dinding, minimum ketebalan dinding inti. Berdasarkan berbagai pengalaman saat proses desain dan konstruksi menunjukkan bahwa ketebalan minimum dinding sebaiknya sebesar:

- 7 inc (180 mm) untuk dinding beton di cor di tempat
- inc (87.5 mm) untuk beton muda dengan sekat baja
- 4 inc (100 mm) untuk dinding beton precast dengan sekat baja

#### 3.3.6.2 Kontrol Struktur Primer

Desain elemen struktur primer dikontrol berdasarkan

1. Kontrol terhadap analisa gempa
  - Perhitungan gaya geser dasar (SNI 3-1726-1012 pasal 7.8.1)
  - Kontrol drift (SNI 3-1726-2012 pasal 7.12.1)
  - Kontrol Partisi Massa (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1)
2. Kontrol terhadap penulangan balok melingkar
  - Kontrol momen nominal (SNI 03-1729-2002)
3. Kontrol terhadap perencanaan kolom penyangga
  - Kontrol kelangsingan kolom (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.1)

#### 3.3.6.3 Dinding Prategang

- Tendon prategang dinding Circular Clarifier Tank

- Momen dan tegangan Circular Clarifier Tank yang terjadi di lapangan
- Kehilangan gaya prategang kondisi short term (akibat pengangkur, gesekan, dan perpendekan elastis) maupun kondisi long term (akibat creep, shrinkage, dan relaksasi beton)
- Kebutuhan tendon prategang

#### **3.3.6.4 Penulangan Lentur Dinding Prategang**

- Tulangan horizontal (arah Lx)
- Tulangan vertikal (arah Lz)

#### **3.3.6.5 Penulangan Balok Melingkar**

- Tulangan lentur
- Tulangan geser balok melingkar
- Tulangan lentur lapangan

#### **3.3.6.6 Perencanaan kolom penyangga**

- Perencanaan tulangan longitudinal
- Perencanaan tulangan geser

### **3.3.7 Perencanaan Pondasi**

Setelah menghitung beban struktur atas secara keseluruhan, maka kita harus meneruskan beban tersebut ke struktur bawah (pondasi). Langkah - langkah yang dikerjakan dalam perencanaan struktur tersebut adalah :

#### **1. Hasil penyelidikan tanah**

Dari hasil penyelidikan tanah dengan menggunakan metode Boring Log didapatkan data tanah sebagaimana dilampirkan pada akhir proposal ini.

#### **2. Daya dukung tanah**

- ✓ Perkiraan daya dukung tanah

Perhitungan daya dukung tanah menggunakan metode Luciana Decourt (1982)

$$Ql = Qp + Qs.Qad = \frac{Ql}{f} \text{ dengan } f = 2$$

$$Qp = Qp + Qs.Ap = (Np.K).Ap$$

$$Q_s = Q_s + A_s = \frac{N_s}{3} + 1 \cdot A_s$$

dimana:

- $Q_p$  = tegangan di ujung tiang ( $t/m^2$ )  
 $N_p$  = harga rata-rata SPT di sekitar 4B di atas hingga 4B di bawah dasar tiang pondasi ( $B$  = diameter pondasi)  
 $K$  = koefisien karakteristik tanah  
     12  $t/m^2$  untuk lempung  
     20  $t/m^2$  untuk tanah lanau berlempung  
     25  $t/m^2$  untuk lanau berpasir  
     40  $t/m^2$  untuk pasir  
 $A_p$  = luas penampang dasar tiang =  $0.4^2 = 0.16$   
 $Q_s$  = tegangan akibat tekanan lateral tanah ( $t/m^2$ )  
 $A_s$  = keliling x panjang yang terbenam ( $m^2$ )

### 3. Perencanaan Bored Pile

- Spesifikasi bored pile

Tiang pondasi bored pile direncanakan dengan dimensi sebagai berikut:

Pondasi dengan diameter 1 m  
 Panjang pile : 22 m  
 Luas Penampang ( $A$ ) : 70.68  $m^2$   
 Keliling ( $U$ ) : 138.23 m

- Menentukan jumlah tiang minimum

Dengan menggunakan safety factor,  $SF = 3$  maka didapat:

$$Q_u \text{ ijin} = \frac{Q_l}{5} + \frac{Q_s}{3}$$

Dengan jumlah kolom 56 buah, maka  $P_u$  keseluruhan sebesar:

$$P_u = 56 \times P \text{ kolom}$$

Maka jumlah pile minimum:

$$n = \frac{P_{\text{keseluruhan}}}{Q_u}$$

- Kontrol daya dukung tanah

Dengan ketentuan jarak antar tiang dan jarak antar tiang ke tepi pile cap mengacu pada buku "*Daya Dukung Pondasi Dalam*" oleh Dr. Ir. Herman Wahyudi tahun 1999.

Jarak antar tiang pancang:

$$S \geq 3D$$

$$S \geq 3.6D$$

$$S \geq 180 \text{ cm}$$

dimana  $S$  = jarak antar tiang pancang

Jarak tiang pancang ke tepi poer

$$1.5D \quad S_t \quad 2D$$

$$1.6D \quad S_t \quad 2.6D$$

$$90 \quad S_t \quad 120 \text{ cm}$$

- Kontrol material bored pile

Kontrol terhadap gaya aksial

Gaya aksial yang diijinkan sesuai kriteria bawah = 180 ton >  $P_{max}$  yang terjadi di lapangan, sehingga bahan bisa dipakai.

Kontrol Lateral

Kontrol lateral ditinjau berdasarkan rumus *Tomlinson* sebagai berikut:

$$Q_h = \frac{2Mu}{(e + Z_f)}$$

#### 4. Perencanaan Poer

- dimensi dan spesifikasi bahan

Dimensi poer direncanakan dengan bentuk segidelapan untuk lebih menyerupai bentuk beban di lapangan

- perencanaan tulangan lentur

Bentuk dan susunan tiang pancang pada poer disusun secara simetris, sehingga penulangan arah x sama dengan penulangan arah y.

- perencanaan tulangan pile cap

Untuk tulangan bagi digunakan 50% dari tulangan pokok

- perencanaan tulangan geser
- kontrol geser pons

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 13.12 yang menyatakan bahwa dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar



dari geser pons yang terjadi. Dimana kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{2}{b_0} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.a

$$V_c = 0.083 \left( \frac{A_s}{b_0} \right) d + 2 \left( \frac{1}{b_0} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.b

$$V_c = 0.33 \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.c

### 1.3.8 Gambar Rencana

Hasil modifikasi perencanaan struktur dituangkan dalam gambar teknik sesuai hasil perhitungan dengan menggunakan software bantu sipil AutoCAD.

## 1.4 Jadwal Pengerjaan Tugas Akhir

No	Kegiatan	2015															
		Minggu ke-															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Pengumpulan Data	■															
2	Studi Literatur		■														
3	Preliminary Desain			■													
4	Pembebanan				■												
5	Perhitungan Struktur Sekunder					■											
6	Permodelan Struktur dengan SAP						■										
7	Kontrol Perencanaan Struktur Primer dan Kehilangan akibat Struktur Prategang							■									
8	Perhitungan Struktur Pondasi								■								
9	Penggambaran Output Desain menggunakan Program AutoCAD									■							

***"Halaman ini sengaja dikosongkan"***

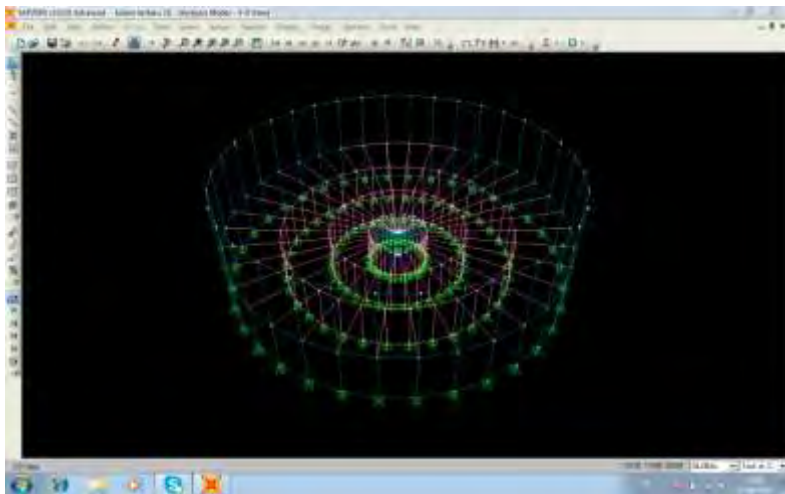
## BAB IV

### PEMODELAN STRUKTUR DENGAN SAP2000

Perencanaan modifikasi pembangunan circular clarifier tank dalam tugas akhir ini menggunakan program bantu SAP2000 untuk mempermudah perhitungan atau analisa strukturnya. Adapun langkah-langkah dalam menginput data perencanaan dalam program SAP2000 akan dijelaskan dalam bab ini.

#### 4.1 Pemilihan Model

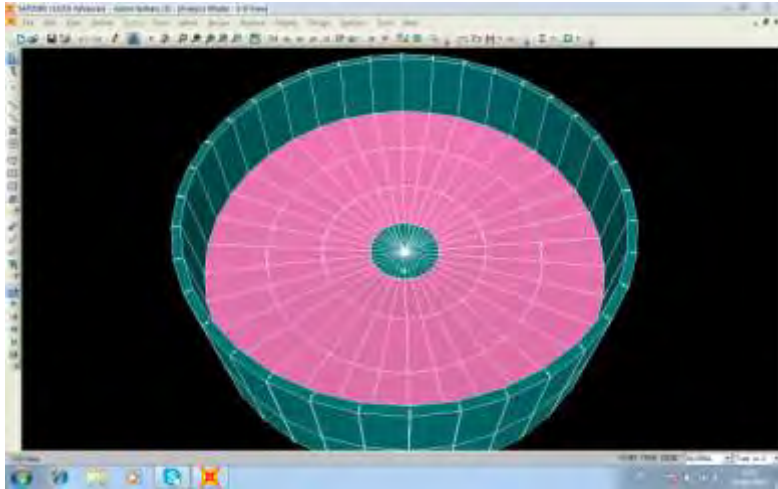
Dalam perencanaan struktur circular clarifier tank dalam tugas akhir ini, model yang digunakan adalah model Shells, dengan pembuatan menggunakan frame biasa yang nantinya di copy-paste sesuai kebutuhan jarak. Nantinya akan dihasilkan penampang circular clarifier tank seperti pada **Gambar 4.1** berikut.



**Gambar 4.1** Hasil Permodelan pada SAP2000

Dinding dari tank itu sendiri hanya dibagi menjadi 2 bagian masing-masing setinggi 3.345 meter. Total ada 4 dinding pada

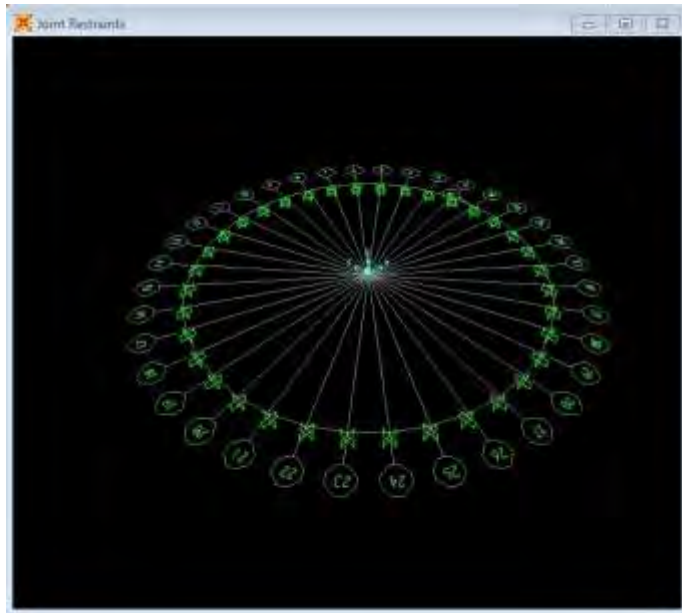
struktur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tampilan “*extrude view*” seperti pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Tampilan “*extrude view*” Circular Tank

#### **4.2 Pemilihan Joint Struktur**

Setelah pemilihan model selesai, kita akan merencanakan pemakaian joint pada dasar struktur circular clarifier tank. Terdapat 2 pilihan yaitu memakai sendi atau jepit. Untuk tugas akhir ini dipilih menggunakan jepit, seperti dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.3** *Dasar Struktur Circular Clarifier Tank dengan Joint Jepit*

#### 4.3 Pemodelan Material

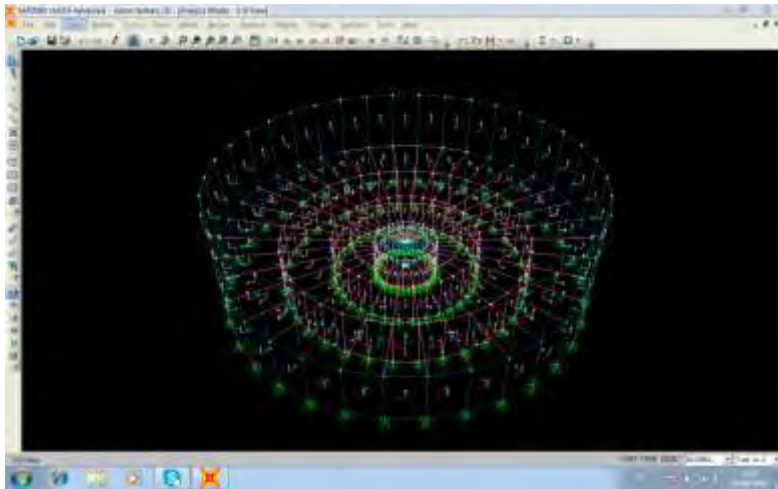
Pemodelan material bergantung kepada struktur itu sendiri, misal apakah memakai beton atau baja. Karena memakai beton, hal-hal yang tidak boleh terlewat untuk di input adalah:

- Nama material
- Tipe material
- Berat material per satuan unit
- Modulus elastisitas
- $f'_c$  beton

#### 4.4 Pembebanan

Untuk pembebanan pada struktur dinding dilakukan dengan memilih area yang diinginkan (dalam tugas akhir ini yaitu dinding bagian dalam), kemudian pilih Assign → Area Loads →

Surface Pressure (All). Arah pembebanan pada tank dapat dilihat di **Gambar 4.4**. Masukkan beban yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini, pembebanan pada dinding dilakukan dengan membagi-bagi segmen dinding tiap ketinggian 3.345 meter dengan beban yang sama. Setelah dilakukan pembebanan kita bisa memasukkan kombinasi pembebanan yang kita inginkan. Setelah itu model siap untuk dilakukan Run Analysis.

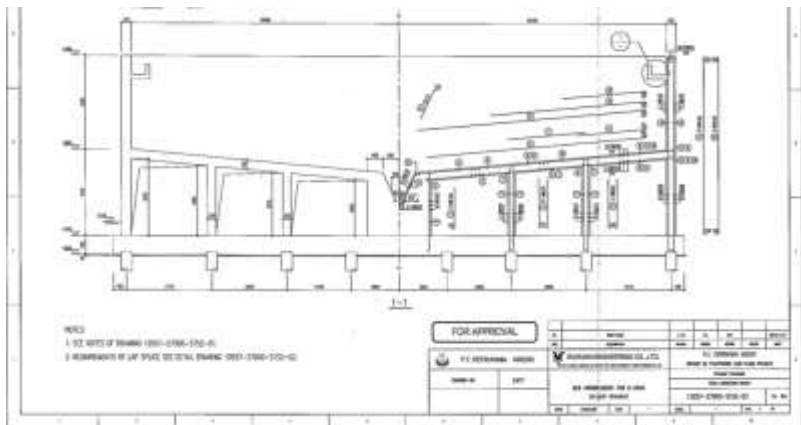


**Gambar 4.4** *Arah Pembebanan pada Circular Clarifier Tank*

## BAB V ANALISA PERENCANAAN

### 5.1 PRELIMINARY DESIGN

Preliminary design dari tugas akhir ini bertujuan untuk memodifikasi ketebalan dinding utama circular clarifier tank, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.1**, menjadi menyesuaikan dengan pemakaian beton prategang nantinya.



**Gambar 5.1** *Tampak samping dinding utama yang akan dimodifikasi*  
(sumber: arsip proyek revamping PAF PT. Petrokimia Gresik)

#### 5.1.1 Data Perencanaan

Tipe Bangunan	: Circular Tank
Material Tersimpan	: Air Limbah
Kapasitas	: 1311.304 m <sup>3</sup>
Diameter	: 20.350 m
Tinggi Bangunan	: 6.690 m
Elevasi Bottom	: 0.00 m
Elevasi Top	: 6.690 m
Letak Bangunan	: < 5 km dari pantai

Zona Gempa	: 2
Mutu Beton ( $f'_c$ )	:
- Lean	: 13 Mpa
- Pile	: 50 Mpa
- Foundation, Pile Cap	: 35 MPa
Reinforced Bar	:
- Plain Bar	: 240 N/mm <sup>2</sup>
- Defomed Bar	: 400 N/mm <sup>2</sup>

### 5.1.2 Data Pembebanan

Berat scraper	: 150 kN
Berat pondasi	: 5989 kN
Berat dinding 1	: 3590 kN
Berat dinding 2	: 818 kN
Berat dinding 3	: 443 kN
Berat dinding 4	: 138 kN
Berat bottom slab	: 2659 kN
Equipment Load	: 15509 kN

### 5.1.3 Perencanaan Tebal Dinding Circular Clarifier Tank

Desain tebal dinding haruslah mengacu pada analisa struktur utama, dengan mempertimbangkan efek dari prategang, beban internal, penimbunan kembali, dan beban eksternal lainnya. Dengan kata lain desain yang akurat akan tercapai saat perhitungan struktur utama selesai dan perhitungan kehilangan gaya prategang (friksi & wobble effect, shrinkage & creep, relaksasi, dan slip angker) juga telah diperhitungkan.

### 5.1.4 Proporsi Dinding

Menurut ACI 373R-93 tentang “*Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structures with Circumferential Tendons*”, Proporsi dinding yang nantinya akan diberi prategang melingkar harus memenuhi persyaratan:

- ✓ Tebal minimum 10 inc (25.4 cm) untuk dinding beton cor di tempat dengan tendon melingkar internal, dengan atau



tanpa tendon vertikal, dan penulangan konvensional di dalam ataupun luar permukaan dinding.

### 5.1.5 Metode Desain

Metode desain perencanaan tebal dinding circular clarifier tank menggunakan rumus dari *Portland Cement Asosiation* dari buku "*Design and Construction*" karangan Sargis S. Safarian yang dirumuskan sebagai berikut:

$$H_{\min} = \frac{m \cdot E_s + f_s - n \cdot f_{c_{ten}}}{100 \cdot f_s \cdot f_{c_{ten}}} P_{des} \cdot \frac{D}{2} > 6 \text{ inc}$$

dimana:

$m$  = 0.0003 (koefisien rangkai beton)

$E_s$  = modulus elastisitas baja (200000 Mpa = 28985507 psi)

$E_c$  = modulus elastisitas beton,  $E_c = 4700 \sqrt{f_c}$

$f_s$  = 0.4 – 0.45  $f_y$

$f_{c_{ten}}$  = 0.1  $f_c$

$n = \frac{E_s}{E_c}$

$P_{des} = P \times Cd, P = \frac{g \cdot R}{m' \cdot y} \left( 1 - e^{-m' \cdot k \cdot y / R} \right)$

$m'$  = 0.45 (koefisien friksi)

$R = \frac{D}{2}$

$k = \frac{(1 - \sin r^0)}{(1 + \cos r^0)}$

$r^0 = 30^0$  (sudut geser material)

$g$  = berat jenis material tersimpan (air limbah)

$y$  = kedalaman circular clarifier tank

$D$  = diameter circular clarifier tank

$Cd$  = 1.10, (overpressure factor, sesuai dengan teori *Janssen's or Reimbert's*).

Direncanakan:  $f_y = 400$  Mpa

$f_c = 45$  Mpa

D circular clarifier tank = 20.350 m = 801.18 inc

Perhitungan:

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f_c'} \\ &= 4700\sqrt{45} \\ &= 31528.558 \text{ Mpa} = 4572839.065 \text{ psi (x 145.038)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= 28985507 / 4572839.065 \\ &= 6.34 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= 0.45 \times f_y \\ &= 0.45 \times 400 \\ &= 180 \text{ Mpa} = 26106.84 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{c'_{\text{ten}}} &= 0.1 \times f_c' \\ &= 0.1 \times 45 \\ &= 4.5 \text{ Mpa} = 652.671 \text{ psi (x 145.038)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{D}{2} \\ &= \frac{801.18}{2} \\ &= 400.59 \text{ inc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{(1 - \sin r^0)}{(1 + \cos r^0)} \\ &= \frac{(1 - \sin 30^0)}{(1 + \cos 30^0)} \\ &= 0.268 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{\hat{e} \cdot g \cdot R \cdot \hat{e}}{\hat{e} \cdot m' \cdot \hat{e}} \cdot \hat{e} \cdot 1 - e^{-m \cdot k \cdot \frac{y}{R} \cdot \hat{e}} \\ &= \frac{\hat{e} \cdot 2.048 \cdot 400.59 \cdot \hat{e}}{\hat{e} \cdot 0.45 \cdot \hat{e}} \cdot \hat{e} \cdot 1 - e^{-0.45 \cdot 0.268 \cdot 263.386 / 801.18 \cdot \hat{e}} \\ &= 1276.18 \text{ kip/inc}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{des}} &= P \times C_d \\ &= 1276.18 \times 1.10 \\ &= 1403.8 \text{ kip/inc}^2 \end{aligned}$$

kemudian masuk rumus:

$$\begin{aligned}
 H_{\min} &= \frac{m.E_s + fs - n.fc_{ten}}{100.fs.fc_{ten}} \cdot P_{des} \cdot \frac{D}{2} > 6inc \\
 &= \\
 &= \frac{(0.0003 \times 3045980) + 26106.84 - (6.34 \times 652.671)}{100 \times 26106.84 \times 652.671} \times 1403.8 \times \frac{801.18}{2} > \\
 &6 \text{ inc} \\
 &= 10.07 \text{ inc} \\
 &= 26 \text{ cm (x 2.54)}
 \end{aligned}$$

Perencanaan tebal dinding circular clarifier tank tentunya harus mencapai ketebalan yang lebih kecil daripada desain semula sebesar **35 cm**, dan juga memenuhi persyaratan minimum menurut *ACI 373R-97* sebesar **25.4 cm**. Dari perhitungan didapatkan hasil ketebalan dinding adalah **26 cm**.

## 5.2 PEMBEBANAN

### 5.2.1 Beban Material Tersimpan

#### 5.2.1.1 Beban Material pada Dinding Circular Clarifier Tank

Material yang tersimpan di dalam circular clarifier tank tentu akan menimbulkan gaya horizontal pada dinding tank dan juga beban vertikal pada dasar circular clarifier tank. Selain itu material tersimpan akan menimbulkan gesekan antara material dengan dinding tank. Perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada dinding akan dihitung dengan menggunakan rumus dari *Jansen* sebagai berikut:

a) Gaya Horizontal (Lateral)

$$P = \frac{g.R}{m} \left( 1 - e^{-m.k \cdot \frac{y}{R}} \right)$$

dimana:

: koefisien friksi

R : D/2

$$k = \frac{(1 - \sin \rho^0)}{(1 + \cos \rho^0)}$$

$\rho^0$  : sudut geser material  
 $\rho^0$  : berat jenis material tersimpan  
 $y$  : kedalaman circular clarifier tank  
 $D$  : diameter circular clarifier tank

Contoh perhitungan pada kedalaman 6.69 meter:

$$g = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 20.350 \text{ meter}$$

$$\rho^0 = 30^0 \text{ (sudut geser material beton)}$$

$$m' = 0.45 \text{ (koefisien friksi)}$$

$$k = \frac{(1 - \sin 30^0)}{(1 + \cos 30^0)}$$

$$= \frac{(1 - \sin 30^0)}{(1 + \cos 30^0)}$$

$$= 0.268$$

$$y = 6.69 \text{ meter (dasar circular clarifier tank)}$$

$$R = D/2$$

$$= 20.350/2$$

$$= 10.175 \text{ meter}$$

$$P =$$

$$= \frac{1000 \times 10.175}{0.45} \left( 1 - e^{-0.45 \times 0.268 \times \frac{6.69}{10.175}} \right)$$

$$= 1718.44 \text{ kg/m}^2$$

dimana gaya horizontal tersebut harus dikalikan dengan koefisien Cd.

$$P_{\text{des}} = P \times C_d$$

$$= 1718.44 \text{ kg/m}^2 \times 1.10$$

$$= 1890.284 \text{ kg/m}^2$$

Perhitungan selengkapnya untuk kedalaman yang bervariasi dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

b) Gaya Vertikal

$$q = \frac{g \cdot R}{m' \cdot k} \cdot \frac{1}{R} - e^{-m \cdot k \cdot \frac{y}{R}}$$

dimana:

$\mu'$  : koefisien friksi

R : D/4

k :  $\frac{(1 - \sin \rho^0)}{(1 + \cos \rho^0)}$

$\rho^0$  : sudut geser material

$\gamma$  : berat jenis material tersimpan

y : kedalaman circular clarifier tank

D : diameter circular clarifier tank

Contoh perhitungan pada kedalaman 6.69 meter:

$$g = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 20.350 \text{ meter}$$

$$\rho = 30^0 \text{ (sudut geser material beton)}$$

$$m' = 0.45 \text{ (koefisien friksi)}$$

$$k = \frac{(1 - \sin 30^0)}{(1 + \cos 30^0)}$$

$$= \frac{(1 - \sin 30^0)}{(1 + \cos 30^0)}$$

$$= 0.268$$

$$y = 6.69 \text{ meter (dasar circular clarifier tank)}$$

$$R = D/4$$

$$= 20.350/4$$

$$= 5.0875 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{g \cdot R}{m' \cdot k} - e^{-m' \cdot \frac{y}{R}} \\
 &= \frac{1000 \times 10.175}{0.45 \times 0.268} - e^{-0.45 \times 0.268 \times \frac{6.69}{10.175}} \\
 &= 641.211 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

dimana gaya vertikal tersebut harus dikalikan dengan koefisien Cd.

$$\begin{aligned}
 q_{\text{des}} &= q \times 1.10 \\
 &= 641.211 \text{ kg/m}^2 \times 1.10 \\
 &= 705.332 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya untuk kedalaman yang bervariasi dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

c) Gaya Gesek

$$V_y = R \times (g \cdot y - q)$$

dimana:

- $V_y$  : gaya gesek pada dinding akibat material
- $y$  : berat jenis material tersimpan
- $y$  : kedalaman circular clarifier tank
- $R$  : D/4
- $q$  : gaya vertikal pada dinding akibat material tersimpan

Contoh perhitungan pada kedalaman 6.69 meter:

$$\begin{aligned}
 g &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 y &= 6.69 \text{ meter (dasar circular clarifier tank)} \\
 R &= D/4 \\
 &= 20.350/4 \\
 &= 5.0875 \text{ meter} \\
 q &= 42184.908 \text{ kg/m}^2 \\
 V_y &= R \cdot (g \cdot y - q) \\
 &= 5.0875 \times (1000 \times 6.69 - 42184.908) \\
 &= -32495.496 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

dimana gaya gesek tersebut harus dikalikan dengan koefisien Cd.

$$\begin{aligned}
 V_{ydes} &= V_y \times Cd \\
 &= 32495.496 \text{ kg/m}^2 \times 1.45 \\
 &= 47118.4686 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya untuk kedalaman yang bervariasi dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

### 5.2.2 Beban Angin

Perhitungan beban angin yang terjadi pada struktur circular clarifier tank akan dihitung sesuai dengan ketentuan yang ditentukan dalam Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) tahun 1983 pasal 4.2.4 dimana:

$$P = \frac{V^2}{16}$$

dimana:

V : kecepatan angin yang dirumuskan  $(42.5 + 0.6H)$

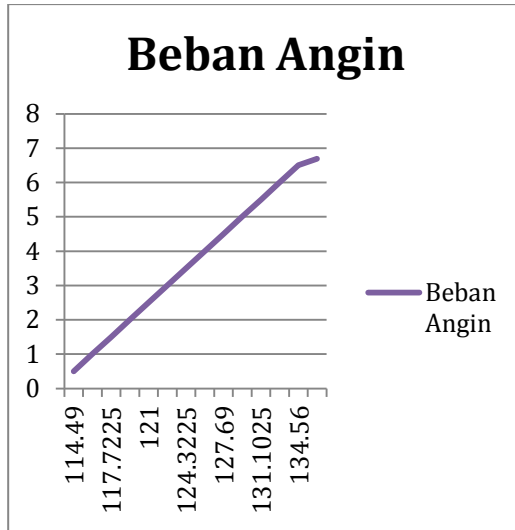
H : ketinggian circular clarifier tank

Besar gaya tiup angin yang terjadi pada struktur circular clarifier tank dengan ketinggian  $H = 6.690$  meter adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V &= (42.5 + 0.6 \times 6.690) \\
 &= 46.514
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{V^2}{16} \\
 &= \frac{46.514^2}{16} \\
 &= 135.222 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan beban angin secara keseluruhan pada struktur circular clarifier tank dapat dilihat pada **Lampiran 2** dan grafik pembebanan akibat angin terhadap tinggi tank dapat dilihat pada **Gambar 5.2** berikut ini.



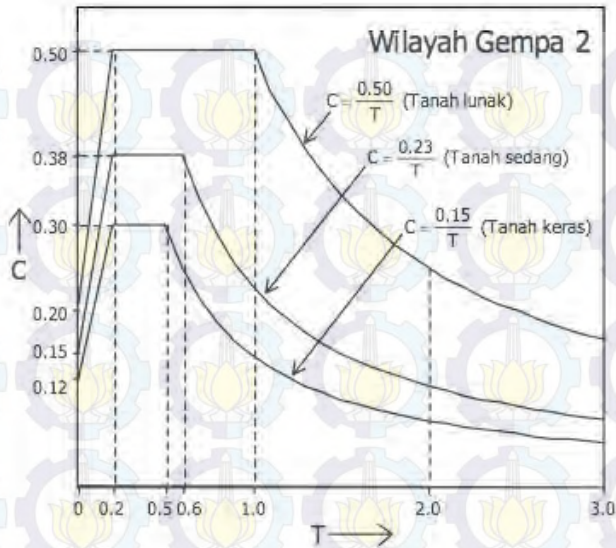
**Gambar 5.2** Pembebanan Akibat Angin terhadap Tinggi Circular Clarifier Tank

### 5.2.3 Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dihitung pada 2 kondisi, yaitu pada saat kondisi circular clarifier tank kosong dan kondisi terisi 80% dari material (air limbah) tersimpan. Peraturan pembebanan gempa yang terjadi pada struktur circular clarifier tank menggunakan respon spektrum dari peraturan. Analisa pembebanan menggunakan bantuan program SAP2000 dengan menggunakan metode UBC 97.

Dari hasil analisa tanah yang ada (terdapat pada lampiran), dapat disimpulkan bahwa jenis tanah yang ada di lokasi pembangunan circular clarifier tank merupakan kategori tanah lunak dengan wilayah zona gempa 2. Menurut SNI 1726-2012 respon spektrum daerah tersebut ditunjukkan **Gambar 5.3** sebagai berikut





**Gambar 5.3** Respon Spectrum Zona Gempa 2

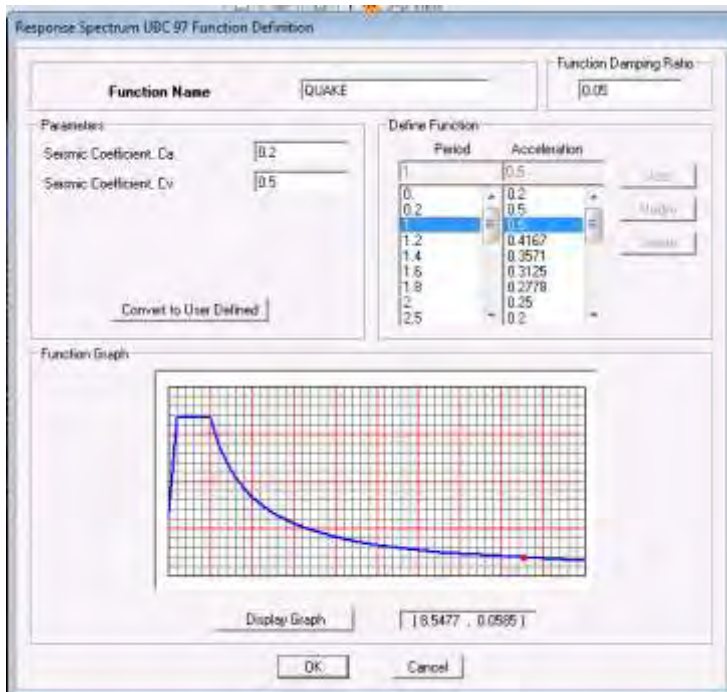
Dari data grafik respon di atas akan di input ke dalam program SAP2000 dengan  $C_a = 0.2$ ,  $C_v = 0.5$  dengan scale factor  $I.g/R$  dimana:

$I = 1$ , faktor keutamaan tank (*ACI 350-3-01 tabel 4c*)

$g = 9.8$ , gravitasi

$R = 8.5$ , faktor reduksi gempa wilayah Indonesia

maka scale factor  $= I.g/R = 1 \times 9.8 / 8.5 = 1.153$ . Input SAP2000 dapat dilihat pada **Gambar 5.4** berikut ini.



**Gambar 5.4** *Input SAP2000*

### 5.3 ANALISA STRUKTUR UTAMA

#### 5.3.1 Analisa Gempa

##### 5.3.1.1 Peraturan Kategori Seismik Desain (KDS)

Lokasi pembangunan circular clarifier tank terletak di Kabupaten Gresik, Jawa Timur yang terletak pada daerah zona gempa 2. Peta lokasi maupun peta pembagian daerah gempa dapat dilihat pada **Gambar 5.5**, **Gambar 5.6** dan **Gambar 5.7**



**Gambar 5.5** Peta Lokasi Pembangunan Circular Clarifier Tank, Kabupaten Gresik Jawa Timur



**Gambar 5.6** Peta Ss Provinsi Jawa Timur



**Gambar 5.7** Peta *S1* Provinsi Jawa Timur

Berdasarkan peta percepatan tanah ( $S_s$  dan  $S_1$ ) pada **Gambar 5.6** dan **Gambar 5.7**, Kabupaten Gresik Jawa Timur memiliki respon spektrum percepatan untuk periode pendek 0.2 detik ( $S_s$ ) adalah 0.7 g dan untuk periode 1 detik ( $S_1$ ) 0.25 g. Parameter spectrum respons percepatan di permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3}(F_a S_s) \text{ dan } S_{D1} = \frac{2}{3}(F_v S_1)$$

dimana:

$S_s$  = nilai respon spektra percepatan untuk periode pendek 0.2 detik di batuan dasar

$S_1$  = nilai respon spektra percepatan untuk periode 1.8 detik di batuan dasar

$F_a$  = koefisien periode pendek 0.2 detik, lihat **Tabel 5.2**

$F_v$  = koefisien periode 1.0 detik, lihat **Tabel 5.3**

Mengacu pada SNI 1726-2002, bangunan circular clarifier tank berada pada kategori resiko II yaitu sebagai bangunan industri dengan faktor keutamaan,  $I_e$ , sebesar 1. Selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

**Tabel 5.1** Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1.0
III	1.25
IV	1.50

**Tabel 5.2 Koefisien Situs  $F_a$** 

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan pada Periode Pendek, $T=0.2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.5$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1.25$
<b>SA</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>SB</b>	1	1	1	1	1
<b>SC</b>	1.2	1.2	1.1	1	1
<b>SD</b>	1.6	1.4	1.2	1.1	1
<b>SE</b>	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
<b>SF</b>	SSb				

**Tabel 5.3 Koefisien Situs  $F_v$** 

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan pada Periode 1 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
<b>SA</b>	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
<b>SB</b>	1	1	1	1	1
<b>SC</b>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
<b>SD</b>	2.4	2	1.8	1.6	1.5
<b>SE</b>	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
<b>SF</b>	SSb				

Berdasarkan hasil analisa data tanah yang ada (lihat bab sebelumnya), jenis tanah lokasi circular clarifier tank tergolong tanah lunak (soft soil), sehingga dapat dikategorikan jenis situs pada daerah tersebut adalah *SE*. Spesifikasi selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.4**.

Sehingga dapat disimpulkan nilai  $F_a$  untuk daerah Kabupaten Gresik Jawa Timur dengan nilai respon spectra percepatan pada 0.2 detik ( $S_s$ ) = 0.7 g adalah 1.2 dan nilai  $F_v$  dengan nilai respon spectrum percepatan pada 1 detik ( $S_1$ ) = 0.25 g adalah 3.2. sehingga didapat nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3}(1.2 \times 0.7) = 0.56$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3}(3.2 \times 0.25) = 0.53$$

**Tabel 5.4 Klasifikasi Situs**

Kelas Situs	Vs (m/detik)	N / Nch	Su (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	> 50	> 100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

- Catatan: N/A tidak dapat dipakai

**Tabel 5.5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	<b>D</b>	D

**Tabel 5.6 Kategori Desain Seismik berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik**

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DS} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{DS} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DS}$	<b>D</b>	D

Sesuai dengan **Tabel 5.5** dan **Tabel 5.6**, maka kategori desain seismik (KDS) lokasi pembangunan circular clarifier tank berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek termasuk dalam kategori “D”.

### 5.3.1.2 Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada **Gambar 5.8** dan mengikuti ketentuan seperti dibawah ini.

- Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{D2}} = 0.2 \frac{0.53}{0.56} = 0.189 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{D2}} = \frac{0.53}{0.56} = 0.946 \text{ detik}$$

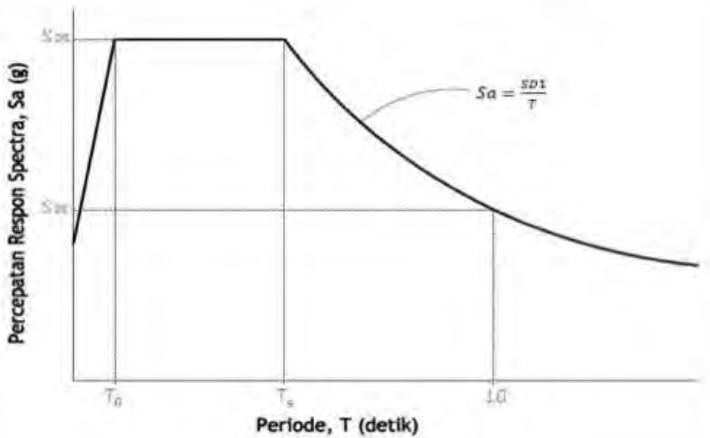
- Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spectrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan berikut ini:

$$S_a = S_{DS} \left[ 0.4 + 0.6 \frac{T_0}{T} \right]$$

$$S_a = 0.56 \left[ 0.4 + 0.6 \frac{0.1}{0.189} \right] = 0.402 \text{ detik}$$

- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
- Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.53}{1.1} = 0.482 \text{ detik}$$



**Gambar 5.8** *Spektrum Respons Desain*

### 5.3.1.3 Menentukan Periode Waktu Getar Alami Fundamental

Perhitungan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan sebagai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

dimana:

$T_a$  = periode fundamental (detik)

$C_t$  = nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada **Tabel 5.7**

$h_n$  = ketinggian struktur, dalam m, di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

Perhitungan periode fundamental struktur ( $T$ ) tidak boleh melebihi hasil perhitungan koefisien untuk batas atas periode terhitung ( $C_a$ ) dari **Tabel 5.8** dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) yang dihitung dengan persamaan diatas.



**Tabel 5.7** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$ 

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya gempa yang diisyaratkan dan tidak dilingkupi atau tidak dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0.0724 <sup>a</sup>	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466 <sup>a</sup>	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0.0731 <sup>a</sup>	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0.0731 <sup>a</sup>	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488 <sup>a</sup>	0.75

**Tabel 5.8** Koefisien  $C_u$ 

Parameter Percepatan Respons Spektra Desain pada 1 detik, SD1	Koefisien $C_u$
0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
0.1	1.7

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = 0.0466 \times 6.69^{0.9}$$

$$T_a = 0.258 \text{ detik}$$

Dimana  $T < C_u \times T_a$

$$T < 1.4 \times 0.258$$

$$T < 0.36 \text{ detik}$$

Nilai  $T$  yang didapat dari hasil analisa SAP2000 dengan menggunakan gaya gempa dinamik,  $T_c$ , didapat 0.045 detik.

$$T_c < T_a$$

Maka diambil  $T = T_a = 0.258 \text{ detik}$

#### 5.3.1.4 Perhitungan Gaya Geser Dasar

Perhitungan besar gaya geser gempa dihitung sesuai dengan SNI 3-1726-2012 sebagai berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

dimana:

V = gaya geser gempa

$C_s$  = koefisien respons seismik

W = berat seismik efektif

Adapun nilai respon seismik dihitung dengan menggunakan persamaan sesuai dengan SNI 3-1726-2012 pasal 7.8.1.1

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e}$$

dimana:

$I_e$  = faktor keutamaan gempa, 1

R = beton bertulang pemikul momen khusus, 8

$$C_s = \frac{0.56}{8/1}$$

$$C_s = 0.07$$

Nilai  $C_s$  tidak boleh lebih dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T(R/1)}$$

$$C_s = \frac{0.53}{0.258(8/1)}$$

$$C_s = 0.257$$

Dan nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari

$$C_s = 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e^{-3} \cdot 0.01$$

$$C_s = 0.044 \times 0.56 \times 1^{-3} \cdot 0.01$$

$$C_s = 0.025$$

maka diambil nilai  $C_s$  sebesar 0.025

Dengan nilai berat struktur (W) = 1,124,339.096 kgf

$$V = 1,124,339.096 \text{ kgf} \times 0.025$$

$$V = 28108.477 \text{ kgf}$$

Dari hasil analisa SAP 2000 didapatkan besar gaya geser ragam ( $V_t$ ) seperti yang tersaji pada **Tabel 5.9** sebagai berikut

**Tabel 5.9 Hasil Output  $V_t$  dari SAP2000**

Output Case	CaseType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Kgf	Kgf
1.2D + 1.0E + L	Combination	135814.88	40892.22
0.9D + 1.0E	Combination	40767.52	136230.38

Sesuai dengan persyaratan RSNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1 besar  $V_t$  harus lebih besar dari  $0.85V = 0.85 \times 28108.477 \text{ kgf} = 23892.205 \text{ kgf}$ .

$$V_{tx} = 135814.88 \text{ kgf} > 29653.985 \text{ kgf} \quad (\text{OK})$$

$$V_{tz} = 136230.38 \text{ kgf} > 29653.985 \text{ kgf} \quad (\text{OK})$$

### 5.3.1.5 Kontrol Drift

Sesuai dengan RSNI 03-1726-2012 Pasal 7.12.1 simpangan yang diijinkan dapat dilihat pada **Tabel 5.10** berikut ini:

**Tabel 5.10 Simpangan Ijin**

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomo dasi simpangan antar lantai tingkat	$0.025 h_{sx}$	$0.020 h_{sx}$	$0.015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0.010 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$

Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0.007 h_{sx}$	$0.007 h_{sx}$	$0.007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0.020 h_{sx}$	$0.015 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$

Sehingga simpangan yang diijinkan adalah sebesar  $0.025 h_{sx}$

ijin =  $0.025 \times 6.69$  meter

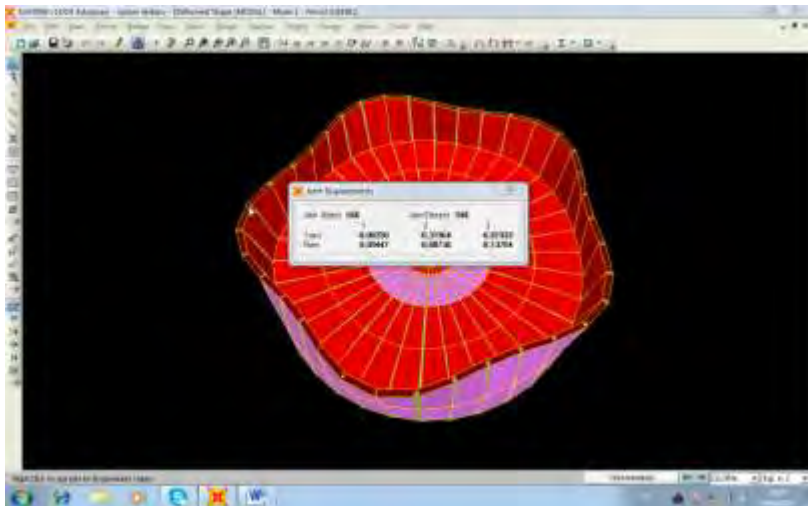
ijin = 0.16725 meter

Simpangan yang terjadi di lapangan dari hasil SAP2000, yang dapat dilihat pada **Gambar 5.9** adalah sebesar 0.01078 meter.

$$d_{\max} = \frac{Cd.d}{1}$$

$$d_{\max} = \frac{5.5 \times 0.0025}{1} = 0.011$$

$$= 0.011 < \Delta \text{ijin} = 0.16725 \text{ (ok)}$$



**Gambar 5.9** Simpangan Maksimum dari SAP2000

### 5.3.1.6 Kontrol Partisi Massa

Sesuai dengan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.1 jumlah ragam vibrasi/mode yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa (*Modal Participating Mass Ratios*) dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Hasil output SAP2000 dapat dilihat pada **Tabel 5.11** berikut ini.

**Tabel 5.11** *Kontrol Partisi Massa*

OuputCase	StepType	StepNum	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	107	0.91	0.91
MODAL	Mode	108	0.91	0.91

Dari **Tabel 5.11** didapatkan bahwa dalam penjumlahan respons ragam menghasilkan respons total hampir mencapai 100%. Dengan demikian ketentuan menurut SNI-03-1726-2012 Pasal 7.9.1 terpenuhi.

### 5.3.2 Analisa Balok Induk

Balok induk terdiri dari 2 macam yaitu balok induk 1 dan balok induk 2. Untuk balok induk 1 terdiri dari 4 macam yaitu balok induk 1A ( $L = 1.8$  m), balok induk 1B ( $L = 2.4$  m), balok induk 1C ( $L = 2.8$  m), balok induk 1D ( $L = 3.175$  m).

#### 5.3.2.1 Penulangan Lentur Balok Induk 1A

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 45 Mpa  
 Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa  
 Tulangan utama = 25 mm  
 Tulangan sengkang = 10 mm  
 Dimensi balok anak = 50/70 cm  
 Selimut beton = 40 mm  
 Panjang Bentang = 1.8 m

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat hasil Mu pada balok induk 1A sebesar 17830 kgm.

$$\begin{aligned}
r_b &= \frac{0.85 b_f' c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \\
&= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45}{400} \frac{600}{600 + 400} \\
&= 0.0459 \\
r_{\max} &= 0.75 r_b \\
&= 0.75 \times 0.0459 \\
&= 0.034 \\
r_{\min 1} &= 1.4 / f_y \\
&= 1.4 / 400 \\
&= 0.0035 \quad (\text{menentukan}) \\
r_{\min 2} &= \sqrt{f' c} / 4 f_y \\
&= \sqrt{45} / 4 \times 400 \\
&= 0.017 \\
r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f' c} \\
&= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
&= 10.46 \\
R_n &= \frac{M_u}{f \cdot b \cdot d x^2} \\
d x &= (700 \times 10) - (25 \times 0.5) - 40 - 10 \\
&= 637.5 \text{ mm} \\
R_n &= \frac{178300000}{0.8 \times 500 \times 637.5^2} \\
&= 1.097
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{10.46} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 1.097}{400}} \right] \\
 &= 0.003 < r_{\text{min}} = 0.0035 \\
 r_{\text{pakai}} &= 0.0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= r_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0.0035 \times 500 \times 700 \\
 &= 1225 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 3D25 ( $A_s = 1472.62 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak antar tulangan  $94 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ .

Tulangan tekan akan digunakan 50% dari  $A_s$  tulangan tarik, sehingga tulangan akan digunakan 1D25.

Kontrol momen nominal

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0.85 \times f'_c \times b \times a$$

$$1472.62 \times 400 = 0.85 \times 45 \times 500 \times a$$

$$588800 \text{ N} = 19125 a$$

$$a = 30.8 \text{ mm (balok T palsu)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= T \times (d - a/2) \\
 &= 588800 \times (637.5 - 30.8/2)
 \end{aligned}$$

$$= 366292480 \text{ Nmm}$$

$$= 36629.248 \text{ kgm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times 36629.248 \text{ kgm}$$

$$= 31134.86 \text{ kgm} > M_u (17830 \text{ kgm}) \text{ OK}$$

### 5.3.2.2 Penulangan Geser Balok Induk 1A

$$\text{Mutu beton (} f'_c \text{)} = 45 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 50/70 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang bentang} = 2.4 \text{ m}$$

$$d' = 637.5 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $V_u$  max yang terjadi pada bentang balok adalah sebesar 13542 kg.

$$\begin{aligned} V_u \text{ ijin} &= \frac{bw.d.f_c'}{20} \\ &= \frac{500 \times 700 \times 45}{20} \\ &= 787500 \text{ N} > V_u (135420 \text{ N}) \text{ OK} \end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan geser dengan menggunakan rumus:  $fV_c = f' \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

$$\begin{aligned} fV_c &= 0.6 \times \frac{1}{6} \times 500 \times 637.5 \\ &= 21382.4 \text{ N} \end{aligned}$$

0.5  $fV_c = 106912 \text{ N} < V_u (135420 \text{ N})$ , butuh sengkang.

$$\begin{aligned} fV_s &= V_u - fV_c \\ &= 135420 - 21382.4 \\ &= 114037.6 \text{ N} \end{aligned}$$

syarat:

$$fV_s < \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$fV_s < \frac{1}{3} \times 500 \times 637.5$$

$$114037.6 \text{ N} < 712746.7 \text{ N (OK)}$$

Dipakai sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \times d^2 \\ &= 4 \times 10^2 \\ &= 314.15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$fV_s = 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$\begin{aligned} S &= 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{fV_s} \\ &= 0.6 \times \frac{314.15 \times 240 \times 637.5}{114037.6} \\ &= 252.89 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persyaratan Gempa

Jarak antar sengkang:



$< 8\phi$  tulangan utama ( $8 \times 25 = 200$  mm)  
 $< 24\phi$  tulangan sengkang ( $24 \times 10 = 240$  mm)  
 $< 300$  mm  
 dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -300

### 5.3.2.3 Penulangan Lentur Balok Induk 1B

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 45 Mpa  
 Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa  
 Tulangan utama = 25 mm  
 Tulangan sengkang = 10 mm  
 Dimensi balok anak = 50/70 cm  
 Selimut beton = 40 mm  
 Panjang Bentang = 2.4 m

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat hasil Mu pada balok induk 1B sebesar 13728 kgm.

$$\begin{aligned}
 r_b &= \frac{0.85 b_l f'_c \frac{600}{600 + f_y} \frac{600}{600 + f_y}}{f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45 \frac{600}{600 + 400} \frac{600}{600 + 400}}{400} \\
 &= 0.0459 \\
 r_{\max} &= 0.75 r_b \\
 &= 0.75 \times 0.0459 \\
 &= 0.034 \\
 r_{\min 1} &= \frac{1.4}{f_y} \\
 &= \frac{1.4}{400} \\
 &= 0.0035 \quad (\text{menentukan}) \\
 r_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{45}}{4 \times 400} \\
 &= 0.017
 \end{aligned}$$

$$r_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\ &= \frac{400}{0.85 \times 45} \\ &= 10.46 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{Mu}{f_b \cdot dx^2}$$

$$\begin{aligned} dx &= (700 \times 10) - (25 \times 0.5) - 40 - 10 \\ &= 637.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{137280000}{0.8 \times 500 \times 637.5^2} \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{10.46} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 0.84}{400}} \right] \\ &= 0.002 < r_{\text{min}} = 0.0035 \end{aligned}$$

$$r_{\text{pakai}} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= r_{\text{pakai}} \times b \times dx \\ &= 0.0035 \times 500 \times 700 \\ &= 1225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 3D25 ( $\text{As} = 1472.62 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak antar tulangan  $94 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ .

Tulangan tekan akan digunakan 50% dari As tulangan tarik, sehingga tulangan akan digunakan 1D25.

Kontrol momen nominal

$$T = C$$

$$\text{As} \times f_y = 0.85 \times f'_c \times b \times a$$

$$1472.62 \times 400 = 0.85 \times 45 \times 500 \times a$$

$$588800 \text{ N} = 19125 a$$

$$a = 30.8 \text{ mm (balok T palsu)}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$= 588800 \times (637.5 - 30.8/2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 366292480 \text{ Nmm} \\
 &= 36629.248 \text{ kgm} \\
 fMn &= 0.85 \times 36629.248 \text{ kgm} \\
 &= 31134.86 \text{ kgm} > Mu (17830 \text{ kgm}) \text{ OK}
 \end{aligned}$$

#### 5.3.2.4 Penulangan Geser Balok Induk 1B

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 45 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 240 Mpa
Tulangan utama	= 25 mm
Tulangan sengkang	= 10 mm
Dimensi balok induk	= 50/70 cm
Selimit beton	= 40 mm
Panjang bentang	= 4.2 m
$d'$	= 637.5 mm

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $V_u$  max yang terjadi pada bentang balok adalah sebesar 9204 kg.

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ ijin} &= \frac{b \cdot w \cdot d \cdot f'_c}{20} \\
 &= \frac{500 \times 700 \times 45}{20} \\
 &= 787500 \text{ N} > V_u (92040 \text{ N}) \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan geser dengan menggunakan rumus:  $fV_c = f^{1/6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$

$$\begin{aligned}
 fV_c &= 0.6 \times 1/6 \times 500 \times 637.5 \\
 &= 21382.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$0.5 fV_c = 106912 \text{ N} > V_u (92040 \text{ N})$$

karena  $0.5 fV_c > V_u$  sesuai dengan SNI tidak perlu sengkang dan dipakai tulangan geser minimum dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{3 \times 240 \times 157.1}{500} \\
 S &= \frac{75 \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot w \cdot A_v}{1200 \cdot f_y}
 \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \times \pi \times d^2 \\
 &= 2 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157.1 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{1200 \cdot f_y \cdot A_v}{75 \sqrt{f'_c} \cdot b_w} \\
 &= \frac{1200 \times 240 \times 157.1}{75 \times \sqrt{45} \times 640.5} \\
 &= 203 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dan tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{1}{3} \times \frac{b_w \cdot s}{f_y} \\
 s &= \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{b_w} \\
 &= \frac{3 \times 240 \times 157.1}{500} \\
 &= 226.224 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan Gempa

Jarak antar sengkang:

<  $8\phi$  tulangan utama ( $8 \times 25 = 200 \text{ mm}$ )

<  $24\phi$  tulangan sengkang ( $24 \times 10 = 240 \text{ mm}$ )

< 300 mm

dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -240

### 5.3.2.5 Penulangan Lentur Balok Induk 1C

Mutu beton ( $f'_c$ )	= 45 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	= 400 Mpa
Tulangan utama	= 25 mm
Tulangan sengkang	= 10 mm
Dimensi balok anak	= 50/70 cm
Selimut beton	= 40 mm
Panjang Bentang	= 2.8 m

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat hasil Mu pada balok induk 1C sebesar 17173.2 kgm.

$$\begin{aligned}
r_b &= \frac{0.85 b_1 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\
&= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45}{400} \left( \frac{600}{600 + 400} \right) \\
&= 0.0459 \\
r_{\max} &= 0.75 r_b \\
&= 0.75 \times 0.0459 \\
&= 0.034 \\
r_{\min 1} &= \frac{1.4}{f_y} \\
&= \frac{1.4}{400} \\
&= 0.0035 \quad (\text{menentukan}) \\
r_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y} \\
&= \frac{\sqrt{45}}{4 \times 400} \\
&= 0.017 \\
r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right) \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\
&= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
&= 10.46 \\
R_n &= \frac{M_u}{f_b d x^2} \\
d x &= (700 \times 10) - (25 \times 0.5) - 40 - 10 \\
&= 637.5 \text{ mm} \\
R_n &= \frac{171732000}{0.8 \times 500 \times 637.5^2} \\
&= 1.056
\end{aligned}$$

$$r_{perlu} = \frac{1}{10.46} \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 1.056}{400}} = 0.003 < r_{min} = 0.0035$$

$$r_{pakai} = 0.0035$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= r_{pakai} \times b \times d \\ &= 0.0035 \times 500 \times 700 \\ &= 1225 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 3D25 (As = 1472.62 mm<sup>2</sup>) dengan jarak antar tulangan 94 mm > 25 mm.

Tulangan tekan akan digunakan 50% dari As tulangan tarik, sehingga tulangan akan digunakan 1D25.

Kontrol momen nominal

$$T = C$$

$$\text{As} \times f_y = 0.85 \times f'_c \times b \times a$$

$$1472.62 \times 400 = 0.85 \times 45 \times 500 \times a$$

$$588800 \text{ N} = 19125 a$$

$$a = 30.8 \text{ mm (balok T palsu)}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$= 588800 \times (637.5 - 30.8/2)$$

$$= 366292480 \text{ Nmm}$$

$$= 36629.248 \text{ kgm}$$

$$fM_n = 0.85 \times 36629.248 \text{ kgm}$$

$$= 31134.86 \text{ kgm} > M_u (17173.2 \text{ kgm}) \text{ OK}$$

### 5.3.2.6 Penulangan Geser Balok Induk 1C

$$\text{Mutu beton (f'_c)} = 45 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (f_y)} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 50/70 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang bentang} = 4.2 \text{ m}$$

$$d' = 637.5 \text{ mm}$$

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $V_u$  max yang terjadi pada bentang balok adalah sebesar 9431.6 kg.

$$\begin{aligned} V_u \text{ ijin} &= \frac{bw \cdot d \cdot f_c'}{20} \\ &= \frac{500 \times 700 \times 45}{20} \\ &= 787500 \text{ N} > V_u (94316 \text{ N}) \text{ OK} \end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan geser dengan menggunakan rumus:  $fV_c = f \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$

$$\begin{aligned} fV_c &= 0.6 \times 1/6 \times 500 \times 637.5 \\ &= 21382.4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$0.5 fV_c = 106912 \text{ N} > V_u (94316 \text{ N})$$

karena  $0.5 fV_c > V_u$  sesuai dengan SNI tidak perlu sengkang dan dipakai tulangan geser minimum dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{3 \times 240 \times 157.1}{500} \\ S &= \frac{75 \sqrt{f'c} \cdot bw \cdot A_v}{1200 \cdot f_y} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \pi \times d^2 \\ &= 2 \times \pi \times 10^2 \\ &= 157.1 \text{ mm}^2 \\ S &= \frac{1200 \cdot f_y \cdot A_v}{75 \sqrt{f'c} \cdot bw} \\ &= \frac{1200 \times 240 \times 157.1}{75 \times \sqrt{45} \times 640.5} \\ &= 203 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dan tidak boleh kurang dari:

$$A_v = \frac{1}{3} \times \frac{bw \cdot s}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{3 \cdot f_y \cdot A_v}{b_w} \\
 &= \frac{3 \times 240 \times 157.1}{500} \\
 &= 226.224 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Persyaratan Gempa

Jarak antar sengkang:

<  $8\phi$  tulangan utama ( $8 \times 25 = 200 \text{ mm}$ )

<  $24\phi$  tulangan sengkang ( $24 \times 10 = 240 \text{ mm}$ )

< 300 mm

dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -240

### 5.3.2.7 Penulangan Lentur Balok Induk 1D

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 45 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Tulangan utama = 25 mm

Tulangan sengkang = 10 mm

Dimensi balok anak = 50/70 cm

Selimut beton = 40 mm

Panjang Bentang = 3.175 m

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat hasil Mu pada balok induk 1C sebesar 21346 kgm.

$$\begin{aligned}
 r_b &= \frac{0.85 f'_c \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 45 \left( \frac{600}{600 + 400} \right)}{400} \\
 &= 0.0459 \\
 r_{\max} &= 0.75 r_b \\
 &= 0.75 \times 0.0459 \\
 &= 0.034 \\
 r_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} \\
 &= \frac{1.4}{400} \\
 &= 0.0035 \text{ (menentukan)}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 r_{\min 2} &= \sqrt{f'c} / 4f_y \\
 &= \sqrt{45} / 4 \times 400 \\
 &= 0.017
 \end{aligned}$$

$$r_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
 &= 10.46
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_u}{f \cdot b \cdot d x^2}$$

$$\begin{aligned}
 d x &= (700 \times 10) - (25 \times 0.5) - 40 - 10 \\
 &= 637.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{213460000}{0.8 \times 500 \times 637.5^2} \\
 &= 1.31
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{10.46} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 1.31}{400}} \right) \\
 &= 0.003 < r_{\min 1} = 0.0035
 \end{aligned}$$

$$r_{\text{pakai}} = 0.0035$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= r_{\text{pakai}} \times b \times d x \\
 &= 0.0035 \times 500 \times 700 \\
 &= 1225 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 3D25 (As = 1472.62 mm<sup>2</sup>) dengan jarak antar tulangan 94 mm > 25 mm.

Tulangan tekan akan digunakan 50% dari As tulangan tarik, sehingga tulangan akan digunakan 1D25.

Kontrol momen nominal

$$T = C$$

$$\text{As} \times f_y = 0.85 \times f'c \times b \times a$$

$$\begin{aligned}
 1472.62 \times 400 &= 0.85 \times 45 \times 500 \times a \\
 588800 \text{ N} &= 19125 a \\
 a &= 30.8 \text{ mm (balok T palsu)} \\
 M_n &= T \times (d - a/2) \\
 &= 588800 \times (637.5 - 30.8/2) \\
 &= 366292480 \text{ Nmm} \\
 &= 36629.248 \text{ kgm} \\
 fM_n &= 0.85 \times 36629.248 \text{ kgm} \\
 &= 31134.86 \text{ kgm} > M_u (17173.2 \text{ kgm}) \text{ OK}
 \end{aligned}$$

### 5.3.2.8 Penulangan Geser Balok Induk 1D

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu beton (f'c)} &= 45 \text{ Mpa} \\
 \text{Mutu baja (fy)} &= 240 \text{ Mpa} \\
 \text{Tulangan utama} &= 25 \text{ mm} \\
 \text{Tulangan sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Dimensi balok induk} &= 50/70 \text{ cm} \\
 \text{Selimut beton} &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Panjang bentang} &= 7 \text{ m} \\
 d' &= 637.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $V_u$  max yang terjadi pada bentang balok adalah sebesar 29163 kg.

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ ijin} &= \frac{b_w \cdot d \cdot f_c'}{20} \\
 &= \frac{500 \times 700 \times 45}{20} \\
 &= 787500 \text{ N} > V_u (291630 \text{ N}) \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan geser dengan menggunakan rumus:  $fV_c = f \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$

$$\begin{aligned}
 fV_c &= 0.6 \times 1/6 \times \sqrt{45} \times 500 \times 637.5 \\
 &= 21382.4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

0.5  $fV_c = 106912 \text{ N} < V_u (291630 \text{ N})$ , butuh sengkang.

$$\begin{aligned}
 fV_s &= V_u - fV_c \\
 &= 291630 - 21382.4 \\
 &= 270247.6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

syarat:

$$fV_s < 1/3 \times \text{---} \times b \times d$$

$$fV_s < 1/3 \times \text{---} \times 500 \times 637.5$$

$$270247.6 \text{ N} < 712746.7 \text{ N (OK)}$$

Dipakai sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \times \text{---} \times d^2 \\ &= 4 \times \text{---} \times 10^2 \\ &= 314.15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$fV_s = 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$\begin{aligned} S &= 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{fV_s} \\ &= 0.6 \times \frac{314.15 \times 240 \times 637.5}{270247.6} \\ &= 106.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persyaratan Gempa

Jarak antar sengkang:

$$< 8\phi \text{ tulangan utama } (8 \times 25 = 200 \text{ mm})$$

$$< 24\phi \text{ tulangan sengkang } (24 \times 10 = 240 \text{ mm})$$

$$< 300 \text{ mm}$$

dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -200

### 5.3.3 Dinding Prategang

#### 5.3.3.1 Tendon Prategang Dinding Circular Clarifier Tank

Untuk mempermudah perhitungan dalam pembebanan pada dinding circular clarifier tank, maka pembebanan dianggap beban merata pada tiap 0.8 meter ketinggian dinding. Adapun kriteria bahan atau material tendon yang akan digunakan dalam struktur dinding pratekan adalah sebagai berikut:

Mutu baja pratekan : *Uncoted Stress-Relieved Serve Wire Strands Grade-270 ASTM A416*

Mutu beton : 45 Mpa

Diameter strand : 12.7 mm

Modulus elastisitas (Es) : 197000 Mpa

Luas Strand	: 98.71 mm <sup>2</sup> /strand
Breaking load	: 183.7 kN
Ultimate stress	: 1897.78 Mpa
Gaya jacking	: 70% Fpu

- Tegangan Ijin saat Jacking

$$f_{ci}' = 70\% f_c'$$

$$f_{ci}' = 70\% * 45 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci}' = 31.5 \text{ Mpa}$$

$$\text{tegangan tarik (ft)} = 0.25\sqrt{f_{ci}'}$$

$$= 0.25\sqrt{31.5}$$

$$= 1.40 \text{ Mpa}$$

$$\text{tegangan tekan (fc)} = 0.6 * f_{ci}'$$

$$= 0.6 * 31.5 \text{ Mpa}$$

$$= 18.9 \text{ Mpa}$$

- Tegangan Ijin saat Beban Layan

$$\text{tegangan tarik (ft)} = 0.5\sqrt{f_c'}$$

$$= 0.5\sqrt{45}$$

$$= 3.35 \text{ Mpa}$$

$$\text{tegangan tekan (fc)} = 0.45 * f_c'$$

$$= 0.45 * 45 \text{ Mpa}$$

$$= 20.25 \text{ Mpa}$$

$$\text{tegangan putus (fr)} = 0.7\sqrt{f_c'}$$

$$= 0.7\sqrt{45}$$

$$= 4.69 \text{ Mpa}$$

### 5.3.3.2 Momen dan Tegangan yang Terjadi di Lapangan

Penentuan letak dan kebutuhan jumlah tendon prategang pada dinding circular clarifier tank bergantung dari bentuk dan besar momen atau tegangan yang terjadi pada dinding, baik akibat berat struktur sendiri dan juga akibat dari beban luar yang terjadi pada dinding tersebut. Semakin besar momen yang terjadi maka akan semakin banyak pula kebutuhan tendon prategang yang dibutuhkan.

Berikut akan disajikan tegangan yang terjadi pada dinding circular clarifier tank saat kondisi kosong dan kondisi terisi dapat dilihat pada **Tabel 5.12** dan **5.13**.

Untuk mempermudah perencanaan kebutuhan tendon prategang, perhitungan dilakukan pada setiap ketinggian 0.8 meter dinding circular clarifier tank, dan dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP2000.

### 5.3.3.3 Kehilangan Gaya Prategang

Tekanan yang terjadi pada dinding circular clarifier tank bervariasi sesuai dengan elevasi dan kedalaman material yang tersimpan di dalamnya. Oleh sebab itu gaya prategang yang dibutuhkan pun akan berbeda-beda sesuai dengan gaya yang terjadi pada dinding circular clarifier tank. Dalam perhitungan kebutuhan gaya prategang akan digunakan beberapa jumlah strand yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan. Dalam kasus ini saya menggunakan tendon dengan jumlah stand mulai dari 5, 7, 9, 11 dan 12 buah. Kehilangan gaya prategang akan dihitung dalam 2 kondisi, yaitu kondisi *Short Term* dan kondisi *Long Term*.

**Tabel 5.12** Tegangan pada Dinding Circular Clarifier Tank  
Kondisi Kosong

Ketinggian (m)	Tegangan (kgf/m <sup>2</sup> )			
	S11 Top		S11 Bot	
	max	min	max	min
5.6-6.69	39.46	21.17	76.29	221.23
4.8-5.6	78.92	42.33	152.59	442.45
4-4.8	118.39	63.5	228.88	663.68
3.2-4	157.85	84.66	305.17	884.9
2.4-3.2	197.31	105.83	381.46	1106.13
1.6-2.4	236.77	127	457.76	1327.35
0.8-1.6	276.23	148.16	534.05	1548.58
0-0.8	330	177	638	1850

**Tabel 5.13** *Tegangan pada Dinding Circular Clarifier Tank  
Kondisi Terisi*

Ketinggian	Tegangan (kgf/m <sup>2</sup> )			
(m)	S11 Top		S11 Bot	
	max	min	max	min
5.6-6.69	227.32	-155.93	309.36	164.19
4.8-5.6	454.65	-311.87	618.71	328.37
4-4.8	681.97	-467.8	928.07	492.56
3.2-4	909.3	-623.74	1237.43	656.74
2.4-3.2	1136.62	-779.67	1546.79	820.93
1.6-2.4	1363.95	-9355.61	1856.14	985.11
0.8-1.6	1591.27	-1091.54	2165.5	1149.3
0-0.8	1901	-1304	2587	1373

Sistem jacking pada dinding circular clarifier tank menggunakan angkur hidup 1 arah, dimana gaya jacking pada beton prategang untuk masing-masing jumlah strand adalah sebagai berikut:

Jumlah strand = 5 buah

Gaya jacking = 70%. Fpu

$$= 5 * 70\% * 1897.78 * 12.7 * 98.71/1000$$

$$= 8326.812 \text{ kN}$$

Untuk hasil keseluruhan gaya jacking masing-masing jumlah strand dapat dilihat pada **Tabel 5.14**

**Tabel 5.14** *Gaya Jacking*

Jumlah Strand	5	7	9	11	12
Gaya Jacking	8326.812	11657.537	14988.262	18318.987	19984.349

#### **a) Kehilangan Prategang akibat Pengangkuran**

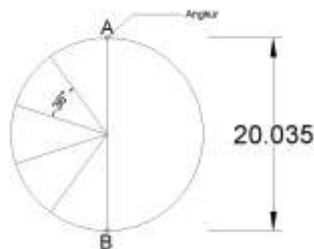
Kehilangan prategang akibat pengangkuran diasumsikan sebesar 3% sehingga besar kehilangan gaya prategang akibat pengangkuran dapat dilihat pada **Tabel 5.15**.

**Tabel 5.15** *Kehilangan Gaya Prategang Akibat Pengangkuran*

Jumlah Strand	5	7	9	11	12
Kehilangan	312.333	437.266	562.2	687.134	749.6
Sisa	73%	73%	73%	73%	73%

**b) Kehilangan Akibat Gesekan**

Kehilangan gaya prategang akibat gesekan atau wobble effect pada struktur melengkung sangatlah besar. Semakin besar kelengkungan maka akan semakin besar pula kehilangan yang terjadi. Oleh sebab itu, dalam pemasangan tendon prategang pada dinding circular clarifier tank akan dibagi menjadi beberapa bagian untuk meminimalisir kehilangan gaya prategang akibat wobble effect tersebut. Perencanaan tendon prategang pada dinding circular clarifier tank dalam tugas akhir ini dibagi menjadi 4 titik jacking atau titik angkur (A, B, C, dan D) seperti pada **Gambar 5.10** dengan menggunakan angkur hidup 1 arah dan pengangkuran dilakukan dengan sudut putar  $90^0$ .



**Gambar 5.10** *Perencanaan Titik Angkur pada Tank*

Perhitungan kehilangan gaya prategang dilakukan pada titik tiap pengangkuran, dengan masing-masing sudut  $90^0$  yang akan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_2 = F_1(e^{-\mu\alpha - KL})$$

Dimana:

$$\mu = 0.2$$

$$K = 0.003$$

L = panjang tiap segmen

$$\text{Panjang lengkung tiap segmen} = 90/360 * \mu * D$$

$$\text{Panjang lengkung tiap segmen} = 90/360 * 3.14 * 20.350$$

$$\text{Panjang lengkung tiap segmen} = 15.97 \text{ meter}$$

= kelengkungan (rad)

$$a = \left( \frac{90}{2 \times 90^\circ} \right) = 0.314 \text{ rad}$$

Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.16**.

**Tabel 5.16** Nilai  $\mathcal{A}$  dan L tiap Segmen

			P. Lengkung	P. Tiap Segmen		Lx
			m	m	rad	m
	0					
A	1	90	15.97	15.97	0.314	15.97
B	2	90	15.97	15.97	0.314	31.94
C	3	90	15.97	15.97	0.314	47.91
D	4	90	15.97	15.97	0.314	63.88

F1 = gaya jacking

$$= 8326.812 \text{ kN} - 312.333 \text{ kN}$$

$$= 8014.479 \text{ kN}$$

Dengan menggunakan rumus:

$$F2 = F1(e^{-\mu a - KL})$$

didapat kehilangan gaya prategang akibat gesekan seperti yang tersaji pada **Tabel 5.17** berikut ini.



**Tabel 5.17 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Gesekan**

Jumlah Kabel		5	7	9	11	12
F2	0	8014.479	11220.271	14426.062	17631.853	19234.749
F2	1	7382.938	10336.114	13289.288	16242.463	17719.051
F2	2	6934.127	9707.778	12481.429	15255.079	16641.905
F2	3	6512.566	9117.592	11722.618	14327.644	15630.157
F2	4	6114.246	8559.945	11005.643	13451.341	14674.190
F2	5	5746.381	8044.934	10343.486	12642.039	13791.315
Sisa		37.42%	37.42%	37.42%	37.42%	37.42%

\*satuan dalam kN

**c) Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis**

Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis

(Es) adalah sebagai berikut:

$$Es = Kes \frac{E_s f_{cir}}{E_{ci}}$$

$$Kes = 0.5$$

$$Es = 197000 \text{ Mpa}$$

$$Ec = 4700\sqrt{45}$$

$$= 31528.558 \text{ Mpa}$$

$$n = 7$$

$$\text{jumlah strand} = 5 \text{ buah}$$

$$\text{tebal dinding} = 26 \text{ cm}$$

$$f_{cir} = 5746.381 \text{ kN}$$

$$Es = 0.5 \times \frac{197000 \times \frac{5746.381 \times 1000}{1000 \times 26}}{31528.558}$$

$$= 45.797 \text{ Mpa}$$

$$= Es \times Aps$$

$$= 45.797 \text{ Mpa} \times 5 \times \frac{98.71}{100}$$

$$= 226.033 \text{ kN}$$

Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.18**.

**Tabel 5.18** Kehilangan Gaya Prategang Akibat Perpendekan Elastis

Jumlah Kabel	5	7	9	11	12	Satuan
f <sub>cir</sub>	5746.38	8044.93	10343.49	12642.04	13791.32	kN
E <sub>s</sub>	45.80	64.12	82.44	100.75	109.91	Mpa
dE <sub>s</sub>	22.60	44.30	73.23	109.40	130.19	kN
kehilangan	0.27	0.38	0.49	0.60	0.65	%
sisas	37.15	37.04	36.93	36.82	36.77	%
	4485.88	6291.07	8102.48	9920.07	10831.20	%

Kehilangan gaya prategang pada kondisi *Short Term* (akibat jacking, gesekan dan perpendekan elastis) dapat ditabelkan seperti yang tertera di **Tabel 5.19** berikut ini.

**Tabel 5.19** Kehilangan Gaya Prategang Kondisi *Short Term*

Sisa	37.157%	37.04%	36.93%	36.82%	36.77%
	3093.994 kN	4317.952 kN	5535.165 kN	6745.051 kN	7348.245 kN

#### d) Kehilangan Prategang akibat Creep (CR)

Kehilangan gaya prategang akibat creep atau rangkai beton untuk jumlah kabel 5 buah adalah sebagai berikut:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

dimana:

$K_{cr}$  = 1.6 untuk komponen pasca tarik

$E_s$  = 197000 Mpa

$E_c$  =  $4700\sqrt{45}$

= 31528.558 Mpa

$f_{cir}$  = F/A

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3093.994 \times 1000}{26 \times 1000} \\
 &= 7.893 \text{ Mpa} \\
 \text{fcds} &= 0 \text{ (tidak ada beban tambahan)} \\
 \text{CR} &= 1.6 \times \frac{197000}{31528.558} \times (7.893 - 0) \\
 &= 78.908 \text{ Mpa} \\
 &= \text{CR} * \text{Aps} \\
 &= 78.908 \text{ Mpa} * \frac{98.71}{100} \\
 &= 77.89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

untuk selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 5.20**.

**Tabel 5.20 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Creep**

Jumlah Kabel	5	7	9	11	12	Satuan
fcds	0	0	0	0	0	
fcir	7.893	11.015	14.12	17.207	18.746	Mpa
CR	78.907	110.122	141.165	172.021	187.404	Mpa
delta CR	7.789	10.87	13.934	16.98	18.499	kN
Loss	0.00109	0.00108	0.00108	0.00108	0.00108	%
Sisa	3093.91	4317.835129	5535.015	6744.868	7347.845	kN
	37.156	37.039	36.929	36.819	36.768	%

**e) Kehilangan akibat Shrinkage (SH)**

Kehilangan gaya prategang akibat susut beton atau yang sering juga disebut shrinkage (SH) akan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$SH = 8.2 \times 10^{-4} K_{sh} E_s \epsilon_c - 0.06 \frac{V}{S} \left( \frac{\Delta T}{100} (100 - RH) \right)$$

dimana:

$$K_{SH} = 0.77 \text{ k}$$

$$RH = 75\%$$

$$\frac{V}{S} = \frac{26 \times 1000}{4 \rho \cdot \frac{15000}{4}}$$

$$= 8.318$$

$$E_s = 197000 \text{ Mpa}$$

$$SH = 8.2 \times 10^{-7} \times 0.77 \times 197000 (1 - 0.06 \times 8.318) (100 - 75)$$

$$= 15.57 \text{ Mpa}$$

Kehilangan prategang akibat susut untuk jumlah kabel 5 buah adalah:

$$= SH * A_{ps}$$

$$= 15.57 \text{ Mpa} * 5 * \frac{98.71}{1000}$$

$$= 7.68 \text{ kN}$$

Rekapitulasi perhitungan kehilangan gaya prategang akibat susut dapat dilihat pada **Tabel 5.21** berikut ini.

**Tabel 5.21** *Kehilangan Gaya Prategang Akibat Shrinkage*

Jumlah Kabel	5	7	9	11	12	Satuan
SH	15.57	15.57	15.57	15.57	15.57	Mpa
delta SH	7.685	10.758	13.832	16.906	18.443	kN
Loss	0.092	0.092	0.092	0.092	0.092	%
Sisa	3086.226	4307.077	5521.183	6727.962	7329.402	kN
	37.064	36.947	36.837	36.727	36.676	%

#### f) Kehilangan Akibat Relaksasi Baja (RE)

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (RE) dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$RE = \frac{E}{K_{re}} - J (SH + CR + ES) C$$

dimana:

$$K_{re} = 138 \text{ Mpa}$$

$$C = 0.75$$

$$J = 0.15$$

Maka kehilangan gaya prategang untuk jumlah strand 5 adalah:

$$RE = [138 - 0.15(17.79 + 110.576 + 38.079)] 0.75$$

$$= 84.775 \text{ Mpa}$$

$$\Delta RE = RE * A_{ps}$$

$$= 84.775 \text{ Mpa} * 5 * \frac{98.71}{1000}$$

$$= 41.841 \text{ kN}$$

Hasil rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 5.22**

**Tabel 5.22 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja**

Jumlah Kabel	5	7	9	11	12	Satuan
RE	87.719	82.147	76.593	71.061	68.3	Mpa
delta RE	43.294	56.761	68.045	77.159	80.903	kN
Loss	0.52	0.487	0.454	0.421	0.405	%
Sisa	3042.932	4250.316	5453.138	6650.803	7248.500	kN
	36.544	36.46	36.383	36.306	36.271	%

Kehilangan gaya prategang pada kondisi *Long Term* dapat dilihat pada **Tabel 5.23**

**Tabel 5.23 Kehilangan Gaya Prategang Kondisi Long Term**

Sisa	36.544%	36.460%	36.383%	36.306%	36.271%
	3042.949	4250.323	5453.193	6650.893	7428.524

\*Satuan dalam kN

Kontrol perhitungan tendon prategang dilakukan dalam 2 kondisi yaitu pada kondisi awal (*short term*) dan pada saat beban terisi (*long term*). Berikut adalah kontrol perhitungan tegangan yang terjadi pada dinding circular clarifier tank pada saat awal (kosong) dan pada saat beban terisi.

Dari hasil analisa SAP2000 didapat contoh tegangan maximum yang terjadi pada dinding circular clarifier tank saat terisi dengan elevasi 5.6 – 6.69 adalah -309.36 kgf. Sedangkan

tegangan minimum yang terjadi adalah -155.93 kgf (lihat **Tabel 5.12** dan **5.13**). Dengan menggunakan tendon prategang dengan jumlah strand 5/meter didapat tegangan prategang pada awal sebesar:

$$\begin{aligned} f_i &= \frac{F_i}{bh} \\ &= -\frac{3093.994 \times 1000}{392 \times 1000} \\ &= -7.892 \text{ Mpa (tekan)} \end{aligned}$$

dari hasil tersebut didapat kombinasi tegangan maximum sebesar -1.513 Mpa (tarik) < tegangan tekan ijin (29.25 Mpa) dan kombinasi tegangan minimum -9.753 Mpa (tekan) < tegangan tekan ijin (29.25 Mpa). Hasil tersebut dapat ditabelkan seperti yang tersaji pada **Tabel 5.24** sebagai berikut:

**Tabel 5.24** Rekapitulasi Tegangan Dinding Circular Clarifier Tank pada Elevasi 5.87 – 6.69 meter Pada Saat Awal

Tendon yang Digunakan	Tegangan Pratekan saat Awal	Tegangan Maximum Dinding Tank	Tegangan Minimum Dinding Tank	Kombinasi Tegangan Maximum	Kombinasi Tegangan Minimum	Kesimpulan
5K/meter	-7.892	-0.30	-0.155	-7.592	-7.737	ok < ijin

Dengan cara yang sama dihitung kebutuhan tendon prategang setelah terjadi kehilangan gaya prategang (long term), dan hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 5.25**.

**Tabel 5.25** Rekapitulasi Tegangan Dinding Circular Clarifier Tank pada Elevasi 5.87 – 6.69 meter Pada Kondisi Long Term

Tendon yang Digunakan	Tegangan Pratekan saat Awal	Tegangan Maximum Dinding Tank	Tegangan Minimum Dinding Tank	Kombinasi Tegangan Maximum	Kombinasi Tegangan Minimum	Kesimpulan
5K/meter	-7.76	-0.30	-0.155	-7.46	-7.605	ok < ijin

Dari kedua perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa tendon prategang dengan 5 strand dapat digunakan pada dinding circular clarifier tank dengan elevasi 5.6 – 6.69 meter dari permukaan tanah. Untuk perhitungan kebutuhan tendon prategang masing - masing elevasi dapat dilihat pada **Lampiran 6** sedangkan hasil rekapitulasi kebutuhan tendon pada dinding Circular Clarifier Tank dapat dilihat pada **Tabel 5.26**.

**Tabel 5.26 Kebutuhan Tendon Prategang**

<b>Elevasi (meter)</b>	<b>Tendon yang Digunakan</b>	<b>Jarak Tendon (per meter)</b>
5.6-6.69	5-3 (2)	1.09
4.8-5.6	5-7 (4)	0.8
4-4.8	5-7 (6)	0.8
3.2-4	5-12 (9)	0.8
2.4-3.2	5-12 (11)	0.8
1.6-2.4	5-19 (13)	0.8
0.8-1.6	5-19 (15)	0.8
0-0.8	5-19 (18)	0.8

### 5.3.4 Penulangan Angkur

#### 5.3.4.1 Penulangan Lentur Angkur

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 45 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Tulangan utama = 19 mm

Tulangan sengkang = 10 mm

Dimensi balok anak = 50/70 cm

Selimut beton = 40 mm

Dari hasil perhitungan didapat hasil gaya jacking pada strand 5 buah sebesar 309399.4 kg.

$$r_b = \frac{0.85b_c f'_c \frac{600}{600 + f_y} \frac{600}{600 + f_y}}{f_y}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45 \times \frac{600}{400}}{600 + 400} \\
&= 0.0459 \\
r_{\max} &= 0.75 \cdot r_b \\
&= 0.75 \times 0.0459 \\
&= 0.034 \\
r_{\min 1} &= \frac{1.4}{f_y} \\
&= \frac{1.4}{400} \\
&= 0.0035 \quad (\text{menentukan}) \\
r_{\min 2} &= \frac{\sqrt{f'c}}{4f_y} \\
&= \frac{\sqrt{45}}{4 \times 400} \\
&= 0.017 \\
r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\
&= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
&= 10.46 \\
R_n &= \frac{Mu}{f \cdot b \cdot dx^2} \\
dx &= (700 \times 10) - (25 \times 0.5) - 40 - 10 \\
&= 637.5 \text{ mm} \\
R_n &= \frac{3093994000}{0.8 \times 500 \times 637.5^2} \\
&= 1.9 \\
r_{\text{perlu}} &= \frac{1}{10.46} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 1.9}{400}} \right] \\
&= 0.005 > r_{\min 1} = 0.0035
\end{aligned}$$



$$r_{pakai} = 0.005$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= r_{pakai} \times b \times dx \\ &= 0.005 \times 500 \times 700 \\ &= 1750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 7D19 ( $A_s = 1984.7 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak antar tulangan  $94 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$ .

Tulangan tekan akan digunakan 50% dari  $A_s$  tulangan tarik, sehingga tulangan akan digunakan 4D19.

Kontrol momen nominal

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0.85 \times f'_c \times b \times a$$

$$1984.7 \times 400 = 0.85 \times 45 \times 500 \times a$$

$$793880 \text{ N} = 19125 a$$

$$a = 41.51 \text{ mm (balok T palsu)}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$= 793880 \times (637.5 - 41.51/2)$$

$$= 489621520.6 \text{ Nmm}$$

$$= 48962.152 \text{ kgm}$$

$$fM_n = 0.85 \times 48962.152 \text{ kgm}$$

$$= 41617.83 \text{ kgm} > M_u (17830 \text{ kgm}) \text{ OK}$$

### 5.3.4.2 Penulangan Geser Angkur

$$\text{Mutu beton (} f'_c \text{)} = 45 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (} f_y \text{)} = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tulangan utama} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi balok induk} = 50/70 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

$$d' = 637.5 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan didapat hasil gaya jacking pada strand 5 buah sebesar 309399.4 kg.

$$V_u \text{ ijin} = \frac{b w . d . f_c'}{20}$$

$$= \frac{500 \times 700 \times 45}{20}$$

$$= 787500 \text{ N} > V_u (309399.4 \text{ N}) \text{ OK}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan geser dengan menggunakan rumus:  $fV_c = f' \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$

$$\begin{aligned} fV_c &= 0.6 \times \frac{1}{6} \times \quad \times 500 \times 637.5 \\ &= 21382.4 \text{ N} \end{aligned}$$

0.5  $fV_c = 106912 \text{ N} < V_u (309399.4 \text{ N})$ , butuh sengkang.

$$\begin{aligned} fV_s &= V_u - fV_c \\ &= 309399.4 - 21382.4 \\ &= 288017 \text{ N} \end{aligned}$$

syarat:

$$fV_s < \frac{1}{3} \times \quad \times b \times d$$

$$fV_s < \frac{1}{3} \times \quad \times 500 \times 637.5$$

$288017 \text{ N} < 712746.7 \text{ N (OK)}$

Dipakai sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \times \quad \times d^2 \\ &= 4 \times \quad \times 10^2 \\ &= 314.15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$fV_s = 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$\begin{aligned} S &= 0.6 \times \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{fV_s} \\ &= 0.6 \times \frac{314.15 \times 240 \times 637.5}{288017} \\ &= 100.13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persyaratan Gempa

Jarak antar sengkang:

$< 8\phi$  tulangan utama ( $8 \times 25 = 200 \text{ mm}$ )

$< 24\phi$  tulangan sengkang ( $24 \times 10 = 240 \text{ mm}$ )

$< 300 \text{ mm}$

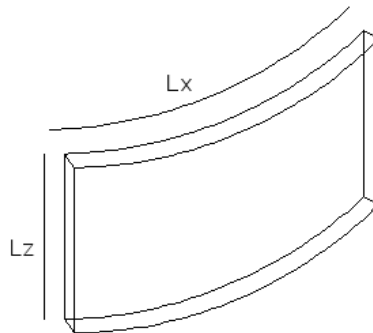
dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -200

### 5.3.5 Penulangan Lentur Dinding Prategang

Penulangan dinding pratekan silinder dibagi tiap ketinggian 3.345 meter ( $L_z$ ) dengan  $L_x$  diambil tiap satuan meter panjang (lihat **Gambar 5.11**). Panjang lengkung dinding tiap segmen meter.

#### 5.3.5.1 Tulangan Horizontal (arah $L_x$ )

Mutu beton ( $f'_c$ )	: 45 Mpa
Mutu Baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Tebal dinding	: 260 mm
Tulangan rencana	: D19
d	: 286 mm
Selimit beton	: 50 mm



**Gambar 5.11** *Penampang Dinding Circular Clarifier Tank*

Pada dasarnya, gaya yang bekerja pada arah horizontal telah ditahan oleh beton prategang, sehingga untuk penulangan lentur nonprategang pada arah horizontal (melingkar) hanya dipasang tulangan minimum. Dimana rasio tulangan dan beton, minimum untuk struktur prategang 0.004, sehingga  $A_s$  tulangan yang dipakai untuk tulangan lentur arah melingkar atau horizontal.

$$A_s = 0.004 \times 1000 \times 286 = 1144 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lentur 5D19-400 pada tiap lapis.

### 5.3.3.2 Tulangan Vertikal (arah Lz)

Mutu beton ( $f'_c$ )	: 45 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Tebal dinding	: 260 mm
Tulangan rencana	: D19
d	: 286 mm
Selimut beton	: 50 mm

Momen 22 maksimum hasil analisa SAP2000 yang terjadi pada dinding tiap elevasi dapat dilihat pada **Tabel 5.27**. Dari momen – momen itu akan direncanakan kebutuhan tulangan lentur vertikal pada dinding struktur circular clarifier tank.

**Tabel 5.27** Momen22 pada Dinding Circular Clarifier Tank

Elevasi (meter)	Momen22 (kgf/m)
6.69 – 2.87	570.02
2.87 - 0	363.96

Tulangan lentur vertikal pada elevasi 2.87 – 6.69 meter dapat dihitung sebagai berikut:

Rasio tulangan minimum untuk beton prategang,  $\rho = 0.004A$

$$rb = \frac{0.85 \cdot b_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$rb = \frac{0.85 \times 0.8 \times 45}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$rb = 0.0459$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0.75 \\ &= 0.75 \times 0.0459 \\ &= 0.0344 \end{aligned}$$

$$r_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
 &= 10.458
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{Mu}{f \cdot b \cdot dx^2}, \text{ dimana } dx = 286 \text{ mm} \\
 &= \frac{5700200}{0.8 \times 1000 \times 286^2} \\
 &= 0.0871
 \end{aligned}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{10.458} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.458 \times 0.0871}{400}} \right)$$

$$\text{perlu} = 0.000218 < \rho \text{ min } 0.004$$

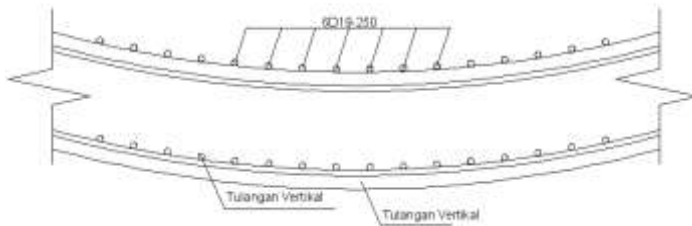
$$\text{pakai} = 0.004$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times dx \\
 &= 0.004 \times 1000 \times 260 \\
 &= 1040 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan tebal dinding  $\geq 250$  mm maka penulangan dipakai 2 lapis dengan ketentuan sebagai berikut:

- Lapis 1  $\geq \frac{1}{2}$  dari total kebutuhan tulangan dan  $\leq \frac{2}{3}$  dari kebutuhan tulangan dipasang dengan jarak  $\geq 50$  mm dan  $\frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding
- Lapis 2 yaitu sisanya ditempatkan dengan jarak  $\geq 20$  mm dan  $\leq \frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding

Dipasang  $\frac{1}{2}$  dari jumlah tulangan untuk masing-masing 2 lapis dengan jarak 50 mm dari muka dinding. Maka tulangan yang dipakai adalah 6D19-250. Gambar tulangan lentur untuk dinding pratekan dapat dilihat pada **Gambar 5.12**



**Gambar 5.12** Tulangan Vertikal dan Horizontal Dinding Pratekan

Dengan cara yang sama, kebutuhan tulangan lentur vertikal pada dinding pratekan circular clarifier tank dapat dilihat pada **Tabel 5.28**.

**Tabel 5.28** Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Lentur Vertikal

Elevasi (meter)	Kebutuhan Tulangan
6.69 - 2.87	6D19-250
2.87 - 0	6D19-250

### 5.3.6 Penulangan Cone

#### 5.3.6.1 Tulangan Melingkar

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 45 Mpa  
 Mutu baja ( $f_y$ ) : 400 Mpa  
 Tebal dinding : 300 mm  
 Tulangan rencana : D19  
 $d$  : 250.5 mm  
 Selimut beton : 50 mm

Dari hasil analisa SAP2000 didapat M11 maksimum,  $M_u = 8568$  kgm/m.

Rasio tulangan minimum untuk beton prategang,  $\rho = 0.004A$

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{0.85 \times b_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45}{400} \times \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0.0459
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \max &= 0.75 \rho_b \\
 &= 0.75 \times 0.0459 \\
 &= 0.0344
 \end{aligned}$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\
 &= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
 &= 10.46
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{f_y b x d^2} \\
 &= \frac{85680000}{0.8 \times 1000 \times 205.5^2} \\
 &= 2.54
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{perlu} &= \frac{1}{10.46} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 2.54}{400}} \right) \\
 &= 0.0066 > \rho_{\min} (0.004)
 \end{aligned}$$

$$\text{pakai} = 0.0066$$

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_x \\
 &= 0.0066 \times 1000 \times 250.5 \\
 &= 1653.3 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

sesuai dengan SNI 03-2847-2013 dengan tebal dinding  $\geq 250$  mm maka penulangan dipakai 2 lapis dengan ketentuan sebagai berikut:

- Lapis 1  $\geq \frac{1}{2}$  dari total kebutuhan tulangan dan  $\leq \frac{2}{3}$  dari kebutuhan tulangan dipasang dengan jarak  $\geq 50$  mm dan  $\frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding
- Lapis 2 yaitu sisanya ditempatkan dengan jarak  $\geq 20$  mm dan  $\leq \frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding

Dipasang  $\frac{1}{2}$  dari jumlah tulangan untuk masing 2 lapis dengan jarak 50 mm dari muka dinding. Maka tulangan yang dipakai adalah 3D19-850.

Kontrol momen lentur:

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot h}$$

$$= \frac{1653.3 \times 400}{0.85 \times 45 \times 300}$$

$$= 57.63 \text{ mm}$$

$$M_n = 1653.3 \times 400 \times (250.5 - 57.63/2)$$

$$= 146604724.2 \text{ Nmm}$$

$$= 14660.47 \text{ kgm}$$

$$M_n = 0.85 \times 14660.47 \text{ kgm}$$

$$= 12461.4 \text{ kgm} > M_u = 8568 \text{ kgm (OK)}$$

### 5.3.6.2 Tulangan Horizontal (arah Lz)

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 45 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 400 Mpa

Tebal dinding : 600 mm

Tulangan rencana : D19

d : 250.5 mm

Selimut beton : 50 mm

Dari hasil analisa SAP2000 didapat M22 maksimum,  $M_u = 14334 \text{ kgm/m}$ .

Rasio tulangan minimum untuk beton prategang,  $\rho = 0.004A$

$$b = \frac{0.85 \times b \times f'_c \times \frac{600}{600 + f_y}}{f_y}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45 \times \frac{600}{600 + 400}}{400} \\
&= 0.0459 \\
\max &= 0.75 \rho_b \\
&= 0.75 \times 0.0459 \\
&= 0.0344 \\
\text{perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'_c} \\
&= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
&= 10.46 \\
R_n &= \frac{M_u}{f_x b x d x^2} \\
&= \frac{143340000}{0.8 \times 1000 \times 205.5^2} \\
&= 4.24 \\
\text{perlu} &= \frac{1}{10.46} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.46 \times 4.24}{400}} \right) \\
&= 0.011 > \min (0.004) \\
\text{pakai} &= 0.011 \\
\text{As perlu} &= \text{pakai} \times b \times d x \\
&= 0.011 \times 1000 \times 250.5 \\
&= 2755.5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

sesuai dengan SNI 03-2847-2013 dengan tebal dinding  $\geq 250$  mm maka penulangan dipakai 2 lapis dengan ketentuan sebagai berikut:

- Lapis 1  $\geq \frac{1}{2}$  dari total kebutuhan tulangan dan  $\leq \frac{2}{3}$  dari kebutuhan tulangan dipasang dengan jarak  $\geq 50$  mm dan  $\frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding
- Lapis 2 yaitu sisanya ditempatkan dengan jarak  $\geq 20$  mm dan  $\leq \frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding

Dipasang 1/2 dari jumlah tulangan untuk masing 2 lapis dengan jarak 50 mm dari muka dinding. Maka tulangan yang dipakai adalah 5D19-850.

Kontrol momen lentur:

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$= \frac{2755.5 \times 400}{0.85 \times 45 \times 300}$$

$$= 96.05 \text{ mm}$$

$$M_n = 2755.5 \times 400 \times (250.5 - 96.05/2)$$

$$= 223167945 \text{ Nmm}$$

$$= 22316.7945 \text{ kgm}$$

$$M_n = 0.85 \times 22316.7945 \text{ kgm}$$

$$= 18969 \text{ kgm} > M_u = 14334 \text{ kgm (OK)}$$

### 5.3.7 Penulangan Balok Melingkar

#### 5.3.7.1 Tulangan Lentur Tumpuan L = 1.77 meter

Mutu beton ( $f'_c$ )	: 45 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Tulangan utama	: 19 mm
Tulangan sengkang	: 10 mm
Dimensi balok anak	: 85/85 cm
Selimut beton	: 40 mm
Panjang bentang	: 1.77 meter

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $M_u$  pada balok melingkar sebesar 570.02 kgm.

$$r_b = \frac{0.85 \cdot b \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$r_b = \frac{0.85 \times 0.8 \times 45}{400} \cdot \frac{600}{600 + 400}$$

$$r_b = 0.0459$$

$$r_{\max} = 0.75 \times r_b$$

$$r_{\max} = 0.75 \times 0.0459$$

$$= 0.0344$$

$$r_{\min 1} = 1.4 / f_y$$

$$r_{\min 1} = 1.4 / 400$$

$$r_{\min 1} = 0.0036$$

$$r_{\min 2} = \frac{\sqrt{f'c}}{4 \cdot f_y}$$

$$r_{\min 2} = \frac{\sqrt{45}}{4 \times 400}$$

$$r_{\min 2} = 0.0042$$

$$r_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \cdot f'c}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 45}$$

$$m = 10.458$$

$$Rn = \frac{Mu}{f_b \cdot dx^2}$$

$$dx = (85 \times 10 - 19) \times (0.5 - 40 - 10) = 789.45 \text{ mm}$$

$$Rn = \frac{5700200}{0.8 \times 1000 \times 789.45^2}$$

$$= 0.011$$

$$\text{perlu} = \frac{1}{10.458} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.458 \times 0.011}{400}} \right)$$

$$\text{perlu} = 0.000028 < \rho_{\min} = 0.0037$$

$$\text{pakai} = 0.0037$$

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times dx \\ &= 0.0037 \times 850 \times 850 \\ &= 2673.25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 10D19 ( $A_s = 2835.29 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak antar tulangan **120 mm**. tulangan tekan digunakan 50% dari  $A_s$  tulangan tarik, sehingga tulangan tekan digunakan 5D19. Gambar penulangan lentur balok melingkar dengan bentang 1.77 dapat dilihat pada **Gambar 5.13**.

- Kontrol Momen Nominal

$$T = C$$

$$A_s \times f_y = 0.85 \times f'_c \times b \times a$$

$$2835.29 \times 400 = 0.85 \times 45 \times 850 \times a$$

$$1134114.9 \text{ N} = 32512.5 a$$

$$a = 34.88 \text{ (balok T palsu)}$$

$$M_n = T \times (d - a/2)$$

$$= 1286796.4 \times (789.45 - 34.88/2)$$

$$= 993419688 \text{ Nmm}$$

$$= 99341.97 \text{ kgm}$$

$$M_n = 0.85 \times 99341.97 \text{ kgm}$$

$$M_n = 84440.67 \text{ kgm} > M_u = 570.02 \text{ kgm (OK)}$$

### 5.3.7.2 Tulangan Geser Balok Melingkar dengan $L = 1.77 \text{ m}$

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 45 Mpa

Mutu baja ( $f_y$ ) : 240 Mpa

Tulangan utama : 19 mm

Dimensi balok anak : 85/85 cm

Selimut beton : 40 mm

Panjang bentang : 1.77 meter

$d'$  : 789.45 mm

dari hasil analisa program SAP2000 didapat  $V_u \text{ max}$  yang terjadi pada bentang balok adalah sebesar 527.05 kgm.

$$V_u \text{ ijin} = \frac{b_w \cdot d \cdot f'_c}{20}$$

$$= \frac{85 \times 85 \times 45}{20}$$

$$V_u \text{ ijin} = 16256.25 \text{ N} > V_u = 5168.595 \text{ N (OK)}$$

Cek kebutuhan tulangan sengkang atau tulangan poer dengan menggunakan rumus

$$fV_c = f \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$fV_c = 0.6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{45} \times 850 \times 789.45$$

$$V_c = 450142.29 \text{ N}$$

$0.5 \phi V_c = 225071.15 \text{ N} > V_u = 5158.595 \text{ N}$ , maka perhitungan sengkang:

$$\begin{aligned} V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 527050 - 447034.71 \\ &= 80015.29 \text{ N} \end{aligned}$$

syarat:

$$V_s < \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_s < \frac{1}{3} \sqrt{45} \times 850 \times 850$$

$$80015.29 \text{ N} < 1615559.114 \text{ N (OK)}$$

dipakai sengkang 4 kaki

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \cdot \pi \cdot r^2 \\ &= 4 \cdot \pi \cdot 5^2 \\ &= 314.15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_s = 0.6 \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{S}$$

$$\begin{aligned} S &= 0.6 \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{fV_s} \\ &= 0.6 \frac{314.15 \times 240 \times 784}{80015.29} \\ &= 443.24 \text{ mm} \end{aligned}$$

dipakai tulangan sengkang  $\phi 10$ -450.

### 5.3.7.3 Tulangan Lentur Lapangan, $L = 1.77 \text{ m}$

Mutu beton ( $f'_c$ )	: 35 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Tulangan Utama	: 25 mm
Dimensi balok anak	: 85/85 cm
Selimut beton	: 40 mm
Panjang bentang	: 1.77 m

Dari hasil analisa program SAP2000 didapat Mu pada balok melingkar sebesar 91.58 kgm.

$$r_b = \frac{0.85 f'_c \frac{A}{C} \frac{600}{600 + f_y \frac{A}{C}}}{f_y}$$

$$r_b = \frac{0.85 \times 0.85 \times 45 \frac{A}{C} \frac{600}{600 + 400 \frac{A}{C}}}{400}$$

$$r_b = 0.0487$$

$$r_b = 0.75 r_b$$

$$r_{\max} = 0.75 \times 0.0487$$

$$= 0.0366$$

$$r_{\min 1} = 1.4 / f_y$$

$$r_{\min 1} = 1.4 / 400$$

$$r_{\min 1} = 0.0035$$

$$r_{\min 2} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 f_y}$$

$$r_{\min 2} = \frac{\sqrt{45}}{4 \times 400}$$

$$r_{\min 2} = 0.0042$$

$$r_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 m R_n}{f_y}} \right)$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 f'_c}$$

$$m = \frac{400}{0.85 \times 45}$$

$$m = 10.458$$

$$R_n = \frac{Mu}{f_b d x^2}$$

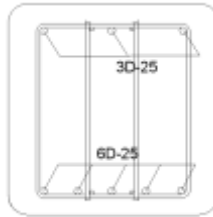
$$dx = (85 \times 10 - 25) \times (0.5 - 40 - 10) = 787.5 \text{ mm}$$

$$R_n = \frac{915800}{0.8 \times 850 \times 787.5^2}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 0.00217 < \rho_{\min} = 0.0035 \\
 \text{pakai} &= 0.0035 \\
 \text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times d_x \\
 &= 0.0035 \times 850 \times 787.5 \\
 &= 2342.813 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan 5D25 ( $A_s = 2454.369 \text{ mm}^2$ ) dengan jarak antar tulangan 145 mm.

Tulangan tekan digunakan 50% dari  $A_s$  tulangan tarik, sehingga tulangan tekan digunakan 3D25. Gambar penulangan lentur pada daerah lapangan dapat dilihat pada **Gambar 5.14**.



**Gambar 5.13** Tulangan Lentur Lapangan Balok Melingkar

- Kontrol Momen Nominal

$$T = C$$

$$\begin{aligned}
 A_s \times f_y &= 0.85 \times f'_c \times b \times a \\
 2454.369 \times 400 &= 0.85 \times 45 \times 850 \times a \\
 981747.6 \text{ N} &= 32512.5 a
 \end{aligned}$$

$$a = 30.196 \text{ mm (balok T palsu)}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= T \times (d - a/2) \\
 &= 981747.6 \times (787.5 - 30.196/2) \\
 &= 758303809.7 \text{ Nmm} \\
 &= 75830.380 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 0.85 \times 75830.380$$

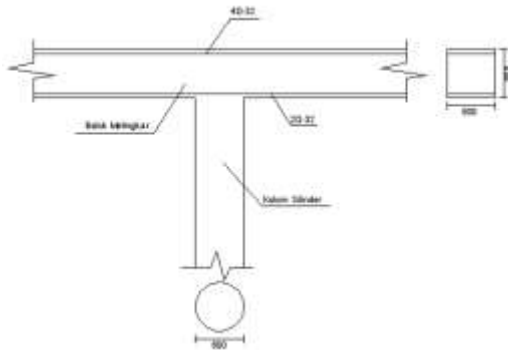
$$M_n = 64455.824 \text{ kgm} > M_u = 91.58 \text{ kgm (OK)}$$

### 5.3.8 Perencanaan Kolom Penyangga

Mutu beton ( $f'_c$ )	: 35 Mpa
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Tulangan utama	: 10 mm

Tulangan sengkang : 8 mm  
 Dimensi kolom : diameter 0.6 m  
 Panjang bentang : 6.69m  
 Selimut beton : 40 mm

Perencanaan kolom diperhitungkan berdasarkan pada beban terbesar yaitu pada kolom tengah. Dapat dilihat pada **Gambar 5.15**.



**Gambar 5.14** Penampang Kolom dan Balok

### 5.3.8.1 Perencanaan Tulangan Longitudinal

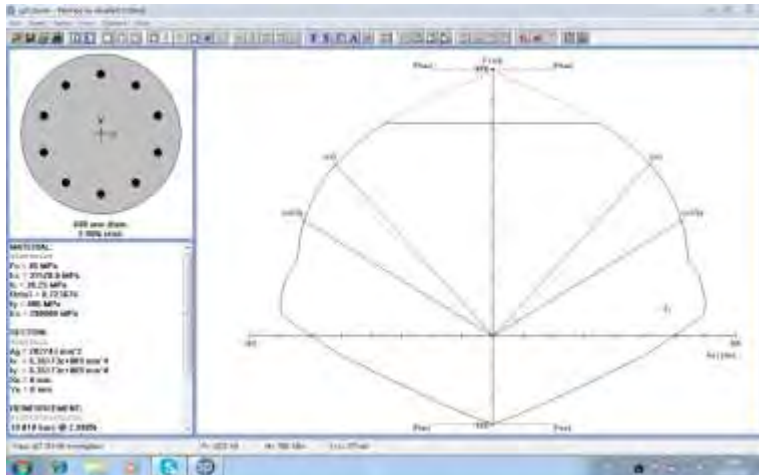
nilai pcacol:  $P = 913 \text{ kN}$  dan  $M = 569 \text{ kN}$

Dengan menggunakan program bantu PCACOL diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan **Gambar 5.15**

Dari hasil analisa PCACOL didapat nilai  $\rho = 2.90\% > 1\%$

Maka jumlah tulangan terpasang:  $A_s = \rho \times A_g$   
 $= 2.90\% \times 3.14 \times 1000^2$   
 $= 91106.187 \text{ mm}^2$   
 Tulangan pakai  $= 10D10$





**Gambar 5.15** Hasil Output PCACOL

Kontrol tulangan lentur kolom sesuai dengan SNI 03-2847-2013 dimana:

$$\bar{M}_{nc} \leq 1.2 \bar{M}_{nb}$$

Dimana  $\bar{M}_{nc}$  adalah momen kapasitas kolom dan  $\bar{M}_{nb}$  merupakan momen kapasitas balok. Perlu dipahami bahwa  $M_{nc}$  harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang menghasilkan kuat lentur terendah, sesuai dengan arah gempa yang ditinjau dan dipakai untuk memeriksa syarat *strong column weak beam*. Setelah kita dapatkan jumlah tulangan untuk kolom, maka selanjutnya adalah mengontrol apakah kapasitas kolom tersebut sudah memenuhi persyaratan *strong column weak beam*.

$$M_g = A_s \cdot f_y (d-a/2)$$

dan

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

Detail tulangan induk yang menyatu dengan pelat hopper dapat dilihat pada **Gambar 7.9**

$$A_s \text{ atas} = 9 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 9 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10^2 \\
 &= 706.5 \text{ mm}^2 \\
 \text{As bawah} &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3.14 \times 10^2 \\
 &= 392.699 \text{ mm}^2 \\
 y &= \frac{(706.5 \times 78) + (392.699 \times 66) + (392.699 \times 634)}{706.5 + 392.699 + 392.699}
 \end{aligned}$$

$$y = 221.158 \text{ mm}$$

$$d \text{ atas} = 600 - 221.158 = 378.842$$

$$d \text{ bawah} = 300.842 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a \text{ atas} &= \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{706.55 \times 400}{0.85 \times 45 \times 600} \\
 &= 12.315 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mg} &= As \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 706.5 \times 400 \times (378.842 - 12.315/2) \\
 &= 105.320 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a \text{ bawah} &= \frac{As \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{392.699 \times 400}{0.85 \times 45 \times 600} \\
 &= 6.844 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mg} &= As \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 392.5 \times 400 \times (300.842 - 6.844/2) \\
 &= 46.695 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mg} &= 105.320 \text{ kNm} + 46.695 \text{ kNm} \\
 &= 152.015 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Nilai Me diambil dari hasil analisa PCACOL dan didapat nilai

$$\begin{aligned}
 \text{Me} &= 2 \times 569 \\
 &= 1138 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$me > 1.2 \Sigma \text{Mg}$$

$$1138 \text{ kNm} > 1.2 \times 152.015 \text{ kNm}$$

$$1138 \text{ kNm} > 182.418 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

### 5.3.8.2 Perencanaan Tulangan Geser

#### a) Perencanaan Tulangan Geser pada Daerah Sendi Plastis

Daerah sendi plastis setidaknya diambil terbesar dari nilai – nilai berikut ini:

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{6} \cdot h \cdot n = \frac{1}{6} (8500 - 700) \\ = 1300 \text{ mm}$$

$$> 500 \text{ mm}$$

Diambil daerah sendi plastis sebesar 1400 mm

Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin,  $\rho_s$ , tidak boleh kurang dari

$$\rho_s \geq 0.12 \frac{f'_c}{f_y h}$$

$$\rho_s \geq 0.12 \frac{45}{240} = 0.0225$$

dan juga

$$\rho_s \geq 0.45 \frac{A_g}{A_c} - \frac{1}{6} \frac{f'_c}{f_y}$$

$$\rho_s \geq 0.45 \frac{78398.16}{748151.44} - \frac{1}{6} \frac{45}{240} = 0.00338$$

Sehingga diambil ratio tulangan sengkang spiral,  $\rho_s = 0.0225$

$$V_c = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (600 - 2 \cdot (40 + 8 + 10))^2 \cdot 1400 \\ = 257577925 \text{ mm}^3$$

$$V_s = 820815222.3 \times 0.0175 \\ = 4507613.68 \text{ mm}^3$$

$$A_s = 4507613.68 / (\pi \cdot (600 - 2 \cdot (40 + 10 + 8))) \\ = 2964.499 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah tulangan pakai} = 2964.499 / (2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2) \\ = 29.488 \text{ dengan jarak } 60 \text{ mm} < 100 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 21.6.4.6, jarak minimum begal sepanjang sendi plastis sebagai berikut:

- $\frac{1}{4} b \text{ terkecil} = \frac{1}{4} \times 1000 = 250 \text{ mm}$

- 6 db  $= 6 \times 10 = 60 \text{ m}$
- $S_x = 100 + \frac{350 - hx}{3}$
- $S_x = 100 + \frac{300 - \frac{1}{6}1000 - 2 * \frac{1}{6}50 - 8 - \frac{1000}{200}}{3}$
- dan tidak lebih dari 150 mm juga tidak boleh kurang dari 100 mm

jadi digunakan jarak begel untuk daerah sendi plastis  $S = 100 \text{ mm}$  dengan jumlah tulangan sengkang sepanjang sendi plastis

$$n = \frac{1400 - 2(40 + 8)}{100} - 1 = 12.04$$

$$\begin{aligned} \text{Ash} &= \frac{1}{4} * \pi * 8^2 * 12.04 \\ &= 605.196 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### b) Perencanaan Tulangan Geser di Luar Sendi Plastis

Sesuai dengan ketentuan SNI 03-2847-2013 yang menyatakan penulangan diluar daerah sendi plastis diteruskan dengan spasi 150 mm. Sehingga dipakai tulangan sengkang spiral dp8-150 mm.

#### c) Persyaratan Kuat Geser

Gaya geser yang bekerja di sepanjang bentang kolom ( $V_u$ ) ditentukan dari  $M_{pr}^+$  dan  $M_{pr}^-$  balok yang menyatu dengan kolom tersebut.

$M_{pr}$  balok dihitung menggunakan rumus berikut:

$$M_{pr} = A_s (1.25 f_y) \cdot (d - a/2)$$

Dimana:  $a = \frac{A_s \cdot (1.25 f_y)}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$

$$\begin{aligned} a \text{ atas} &= \frac{A_s \cdot (1.25 f_y)}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{706.5 \times (1.25 \times 400)}{0.85 \times 45 \times 600} \\ &= 15.392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a \text{ bawah} &= \frac{A_s(1.25f_y)}{0.85.f'c.b} \\
 &= \frac{392.699x(1.25x400)}{0.85x45x600} \\
 &= 8.555 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^+ &= 706.5 \times (1.25 \times 400) \times (378.842 - 15.392/2) \\
 &= 131.107 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^- &= 392.699 \times (1.25 \times 400) \times (300.842 - 8.555/2) \\
 &= 58.23 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{l_n} \\
 &= \frac{131.107 + 58.23}{1.96 - 0.7} \\
 &= 150.267 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_e = \frac{\ddot{A} Me}{l_n}$$

Dari PCACOL didapat  $Me = 2 \times 569 = 1138 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{1138}{1.96 - 0.7} \\
 &= 903.175 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$V_e > V_u$ , maka perencanaan geser memenuhi syarat

Nilai  $V_c$  dianggap = 0 sesuai SNI 03-2847-2013, apabila  $50\% V_e > V_u$ .

$$50\% \times 903.175 = 451.587 \text{ kN.}$$

Syarat diatas terpenuhi sehingga nilai  $V_c = 0$ .

Sedangkan untuk besar  $V_s$  dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_s f_y d}{S} \\
 V_s &= \frac{605.196x400x300.842}{150} \\
 &= 485.516 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$(V_s + V_c) > V_u$$

$$0.75 (485.516 \text{ kN}) > 150.267 \text{ kN}$$

$$364.137 \text{ kN} > 150.267 \text{ kN (OK)}$$

### 5.3.9 Kontrol Kelangsingan Kolom

Kontrol kelangsingan dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 dengan menggunakan rumus:

$$\frac{kl_u}{r} \leq 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}$$

dimana:

- k : faktor panjang efektif
- $l_u$  : panjang kolom efektif
- r : radius grasi,  $0.25d$  (untuk kolom silinder)
- $M_1$  : momen ujung terfaktor terkecil pada kolom
- $M_2$  : momen ujung terfaktor terbesar pada kolom

$$k = 0.7 \text{ (untuk perletakan jepit – jepit)}$$

$$l_u = 6.69 \text{ m}$$

$$r = 0.25 \times 1$$

$$= 0.25 \text{ m}$$

dari analisa SAP2000 didapat  $M_1 = -772.47 \text{ kgm}$  dan  $M_2 = 570.02 \text{ tm}$

$$\frac{0.7 \times 6.69}{0.25} \leq 34 - 12 \frac{-772.47}{570.02}$$

$18.732 \leq 28.327$  (kelangsingan dapat diabaikan, sehingga kolom tidak memerlukan balok pengaku)

## 5.4 PERENCANAAN PONDASI

### 5.4.1 Daya Dukung Tanah

Berdasarkan hasil analisa data tanah Boring Log untuk Borehole 41 (BH-41) pada lokasi Circular Clarifier Tank yang dilakukan oleh Testana Engineering untuk PT. Petrokimia Gresik, diperoleh hasil seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 5.29** berikut:

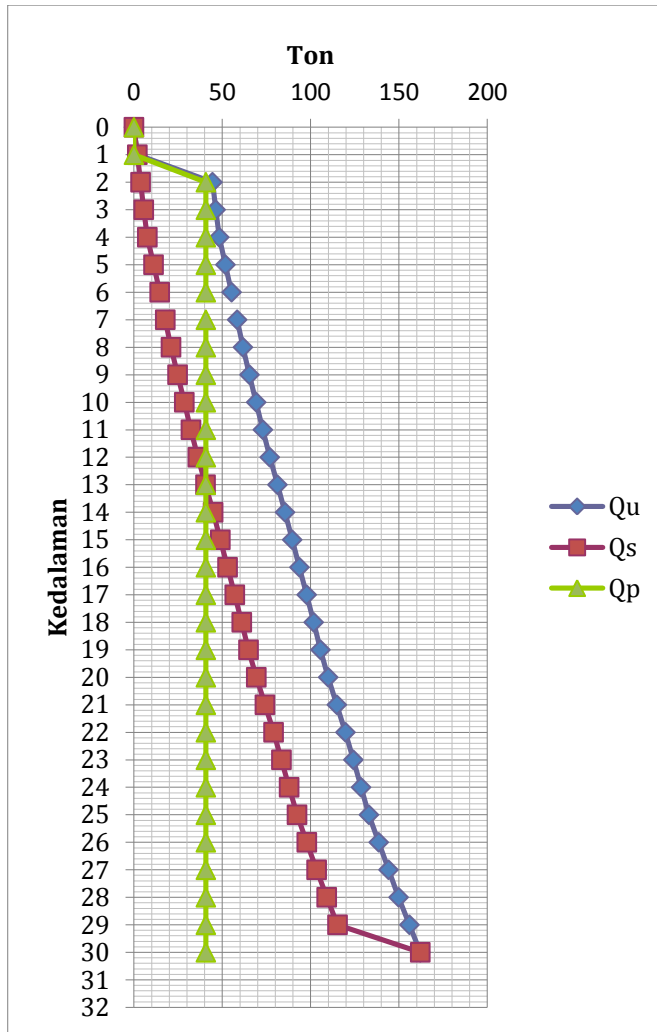
**Tabel 5.29** *Analisa Tanah Hasil SPT*

Depth m	Jenis Tanah	Konsistensi	N lap	N' koreksi	K (t/m <sup>2</sup> )	N <sub>p</sub>	A <sub>p</sub> (m <sup>2</sup> )	Q <sub>p</sub> ton	A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> )	N <sub>s</sub>	N <sub>ave</sub>	Q <sub>s</sub> ton	Q <sub>L</sub> ton
0	lempung berdebu	very loose	0	0	12	0	0.28	0	0	3	3	0	0
1		very loose	4	4	12	0	0.28	0	0.89	4	3.5	1.92	1.92
2		very loose	2	2	12	12	0.28	40.69	1.77	3	3.33	3.75	44.44
3		very loose	0.5	0.5	12	12	0.28	40.69	2.66	3	3.25	5.55	46.24
4		very loose	4	4	12	12	0.28	40.69	3.55	4	3.4	7.57	48.27
5		very loose	10	10	12	12	0.28	40.69	4.44	10	4.5	11.09	51.79
6	lempung gemuk berpasir	moist	10	10	12	12	0.28	40.69	5.32	#	5.21	14.58	55.27
7	lempung gemuk	stiff	8	8	12	12	0.28	40.69	6.21	8	5.5625	17.73	58.42
8		stiff	8.3	8.3	12	12	0.28	40.69	7.1	8.3	5.87	20.98	61.68
9		stiff	10	10	12	12	0.28	40.69	7.99	10	6.28	24.7	65.4
10		stiff	10.2	10.2	12	12	0.28	40.69	8.87	10.2	6.64	28.5	69.2
11		stiff	10	10	12	12	0.28	40.69	9.76	10	6.92	32.27	72.96
12		stiff	10.5	10.5	12	12	0.28	40.69	10.65	10.5	7.19	36.18	76.87
13		stiff	12	12	12	12	0.28	40.69	11.54	12	7.54	40.51	81.21
14		stiff	11.8	11.8	12	12	0.28	40.69	12.42	11.8	7.82	44.81	85.5
15		stiff	11	11	12	12	0.28	40.69	13.31	11	8.02	48.89	89.58
16		stiff	11	11	12	12	0.28	40.69	14.2	11	8.19	52.98	93.67
17		stiff	11	11	12	12	0.28	40.69	15.09	11	8.35	57.07	97.77
18		stiff	10.5	10.5	12	12	0.28	40.69	15.97	10.5	8.46	61.03	101.73
19		stiff	10	10	12	12	0.28	40.69	16.86	10	8.54	64.85	105.55
20		stiff	12	12	12	12	0.28	40.69	17.75	12	8.7	69.24	109.94
21		stiff	13.8	13.8	12	12	0.28	40.69	18.63	13.8	8.94	74.14	114.84

22	lempung gemuk	stiff	13.7	13.7	12	12	0.28	40.69	19.52	13.7	9.14	79.02	119.72
23		stiff	12.2	12.2	12	12	0.28	40.69	20.41	12.2	9.27	83.48	124.17
24		stiff	11.8	11.8	12	12	0.28	40.69	21.3	11.8	9.372	87.83	128.52
25		stiff	12.2	12.2	12	12	0.28	40.69	22.18	12.2	9.48	92.29	132.99
26		stiff	16	16	12	12	0.28	40.69	23.07	16	9.72	97.84	138.53
27		stiff	16	16	12	12	0.28	40.69	23.96	16	9.95	103.39	144.09
28	lempung	very stiff	16.5	16.5	12	12	0.28	40.69	24.85	16.5	10.17	109.09	149.79
29	gemuk	very stiff	18	18	12	12	0.28	40.69	25.73	18	10.43	115.23	155.92
30		very stiff	18	18	12	12	0.28	40.69	26.62	18	10.68	121.37	162.06

Grafik hubungan N-SPT dengan kedalaman dapat dilihat pada **Gambar 5.16** berikut ini.





**Gambar 5.16** Grafik Hubungan *N-SPT* terhadap Kedalaman Tanah

Berdasarkan spesifikasi nilai  $Q_u$  yang berkisar antara 35-65 maka dapat disimpulkan bahwa jenis tanah tersebut merupakan jenis tanah medium.

## 5.4.2 Perencanaan Bored Pile

### 5.4.2.1 Spesifikasi Bored Pile

Tiang pondasi bored pile direncanakan dengan dimensi sebagai berikut:

Pondasi dengan diameter 1 m

Panjang pile : 22 m

Luas Penampang (A) : 70.68 m<sup>2</sup>

Keliling (U) : 138.23 m

### 5.4.2.2 Menentukan Jumlah Tiang Minimum

Dari hasil analisa daya dukung tanah, bored pile akan ditanam sampai pada kedalaman 30 meter dari permukaan dengan daya dukung tanah,  $Q_u = 162.06$  ton

Dengan menggunakan safety factor,  $SF = 3$  maka didapat:

$$\begin{aligned} Q_u \text{ ijin} &= \frac{Q_l}{5} + \frac{Q_s}{3} \\ &= \frac{162.06}{5} + \frac{162.06}{3} \\ &= 86.432 \text{ ton} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa SAP2000 didapat beban maximum,  $P$ , yang terjadi pada kolom circular sebesar  $P = 90.65$  ton. Dengan jumlah kolom 56 buah, maka  $P_u$  keseluruhan sebesar:

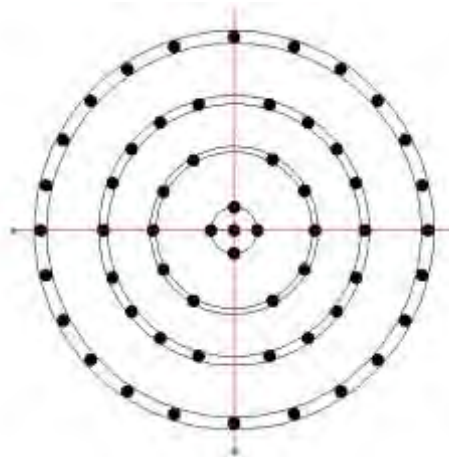
$$\begin{aligned} P_u &= 56 \times P \text{ kolom} \\ &= 56 \times 90.65 \text{ ton} \\ &= 5076.4 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka jumlah pile minimum:

$$n = \frac{P_{\text{keseluruhan}}}{Q_u} = \frac{5076.4}{162.02} = 32 \text{ buah}$$

### 5.4.2.3 Kontrol Daya Dukung Tanah

Perencanaan konfigurasi kolom dapat dilihat pada **Gambar 5.17** berikut ini:



**Gambar 5.17** Konfigurasi Letak Titik Kolom

Dengan ketentuan jarak antar tiang dan jarak antar tiang ke tepi pile cap mengacu pada buku “*Daya Dukung Pondasi Dalam*” oleh Dr. Ir. Herman Wahyudi tahun 1999.

- Jarak antar tiang pancang:
  - $S \geq 3D$
  - $S \geq 3.6D$
  - $S \geq 180 \text{ cm}$
  - dimana  $S$  = jarak antar tiang pancang
- Jarak tiang pancang ke tepi poer
  - $1.5D \leq S_t \leq 2D$
  - $1.6D \leq S_t \leq 2.6D$
  - $90 \leq S_t \leq 120 \text{ cm}$
  - dimana  $S$  = jarak tiang pancang ke tepi poer

Adapun jarak – jarak yang dipakai dalam konfigurasi tiang pancang adalah sebagai berikut:

Jarak, x, antar tiang pancang	: 2.9 meter n arah x 84 buah
Jarak, y, antar tiang pancang	: 2.9 meter n arah y 84 buah
Jarak tiang ke tepi poer	: 1 meter
X max	: 9.4 meter
Y max	: 9.4 meter

Dengan rincian sebagai berikut:

1.  $X1 = 1400 \text{ mm}, \quad n = 2$   
 $aX1^2 = 3.92 \text{ m}^2$   
 $Y1 = 1400 \text{ mm}, \quad n = 2$   
 $aY1^2 = 3.92 \text{ m}^2$
2.  $X2 = 3500 \text{ mm}, \quad n = 4$   
 $aX2^2 = 49 \text{ m}^2$   
 $Y2 = 3500 \text{ mm}, \quad n = 4$   
 $aY2^2 = 49 \text{ m}^2$
3.  $X3 = 5600 \text{ mm}, \quad n = 4$   
 $aX3^2 = 125.44 \text{ m}^2$   
 $Y3 = 5600 \text{ mm}, \quad n = 4$   
 $aY3^2 = 125.44 \text{ m}^2$
4.  $X4 = 6400 \text{ mm}, \quad n = 2$   
 $aX4^2 = 81.92 \text{ m}^2$   
 $Y4 = 6400 \text{ mm}, \quad n = 2$   
 $aY4^2 = 81.92 \text{ m}^2$

$$SnXi^2 = (4 \times 3.92) + (10 \times 49) + (18 \times 125.44) + (24 \times 81.92) \\ = 4792.68 \text{ m}^2$$

$$SnYi^2 = (4 \times 3.92) + (10 \times 49) + (18 \times 125.44) + (24 \times 81.92) \\ = 4792.68 \text{ m}^2$$

Dari konfigurasi yang digunakan didapatkan nilai efisiensi,  $\mu$ , sebagai berikut:

$$= 1 - \frac{\arctan \frac{f}{s}}{90^\circ} x \frac{e}{c}^2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \frac{\ddot{o}}{\ddot{o}} \\ = 1 - \frac{\arctan \frac{0.8}{2.9}}{90^\circ} x \frac{e}{c}^2 - \frac{1}{84} - \frac{1}{84} \frac{\ddot{o}}{\ddot{o}} = 0.66$$

$$Ql \text{ grup} = Qijin \times \mu \times n \\ = 86.432 \times 0.66 \times 168 \\ = 9583580.16 \text{ kg} > P \text{ tiang keseluruhan (5076400 kg)}$$

Karena  $Ql \text{ grup} > Vu$  maka OK

$P_{max}$  yang terjadi pada 1 tiang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{\max} = \frac{\ddot{a}^V}{n} + \frac{M_x Y_{\max}}{\ddot{a} Y_i^2} + \frac{M_y X_{\max}}{\ddot{a} X_i^2}$$

Sedangkan beban – beban yang terjadi pada dasar kolom dapat dilihat pada **Tabel 5.30** berikut ini:

**Tabel 5.30** *Beban dan Momen Maksimum pada Kolom*

Kolom	P	Mx	My
Kolom 1	221.961	113.125	112.237
Kolom 2	90.650	541.79	490.93
Kolom 3	499.458	204.72	204.64
Kolom 4	224.25	135.94	135.83

\*Diperoleh dari hasil analisa SAP2000

$$P_{\max} = \frac{5076.400}{168} + \frac{541.79 \times 9.4}{4792.68} + \frac{490.93 \times 9.4}{4792.68}$$

$$= 32.240 \text{ ton}$$

$$Q_{\text{ijin}} = 86.432 \times 0.69$$

$$= 59.638 \text{ ton}$$

$$P_{\max} < Q_{\text{ijin}} \quad (\text{OK})$$

#### 5.4.2.4 Kontrol Material Tiang Pancang

Tiang pondasi bored pile direncanakan dengan dimensi sebagai berikut:

Pondasi dengan diameter 1 m

Panjang pile : 22 m

Luas Penampang (A) : 70.68 m<sup>2</sup>

Keliling (U) : 138.23 m

a) Kontrol terhadap gaya aksial

$$P_{\max} = 32.240 \text{ ton}$$

Gaya aksial yang diijinkan sesuai kriteria bawah = 180 ton >

$P_{\max}$  yang terjadi di lapangan, sehingga bahan bisa dipakai.

b) Kontrol Lateral

Kontrol lateral ditinjau berdasarkan rumus *Tomlinson* sebagai berikut:

$$Q_h = \frac{2Mu}{(e + Z_f)}$$

Dimana:

$e$  = kedalaman tiang tertanam

$Z_f$  dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z_f = 1.8 \sqrt[5]{\frac{E \cdot I}{n h}}$$

$n h$  = 20 MN/m<sup>3</sup> = 2 kg/cm<sup>3</sup> (diambil dari buku "*Daya Dukung Pondasi Dalam*" karya Dr. Ir. Hermawan Wahyudi

$E$  = modulus elastisitas baja (2100000 kg/cm<sup>2</sup>)

$I$  = momen inersia penampang tiang

$$I = \frac{1}{4} \rho (80^4 - (2.12)^4)$$

$$Z_f = 1.8 \sqrt[5]{\frac{2100000 \times 3909332.5}{2}}$$

$$= 599.696 \text{ cm} = 5.99 \text{ m}$$

$$Q_h = \frac{2 \times 108}{(0 + 5.99)}$$

$$= 36.06 \text{ ton}$$

Dari hasil SAP2000 didapat  $H_{\max}$  1 tiang = 14.209 ton, maka

$$H_{\text{total}} = 14.209 \times 56 = 795.704 \text{ ton}$$

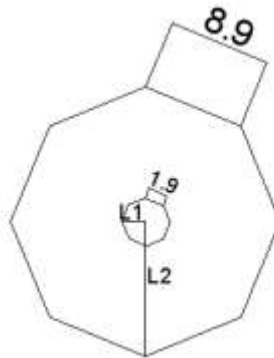
$$H \text{ yang diterima 1 tiang pancang} = \frac{795.704}{56} = 14.209 \text{ ton}$$

$H$  1 tiang <  $Q_h$  (OK)

### 5.4.3 Perencanaan Poer

#### 5.4.3.1 Dimensi dan Spesifikasi Bahan

Dimensi poer direncanakan dengan bentuk segidelapan untuk lebih meyerupai bentuk beban di lapangan. Lihat **Gambar 5.18**. Adapun dimensi dan spesifikasi bahan poer adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.18** *Bentuk dan Dimensi Poer*

Lebar Dalam, L1	: 2.4 m (dari pusat segidelapan)
Lebar Luar, L2	: 11.7 m (dari pusat segidelapan)
Luas	: 402 m <sup>2</sup>
Tebal Poer	: 1.5 m
Selimut Beton	: 75 mm
Diameter tul. Utama	: 32 mm
Diameter tul. Geser	: 28 mm
d'	: 1377 mm
Berat Jenis	: 2400 kg/m <sup>3</sup>
f' <sub>c</sub>	: 45 Mpa
f <sub>y</sub>	: 400 Mpa

#### 5.4.3.2 Perencanaan Tulangan Lentur

Bentuk dan susunan tiang pancang pada poer disusun secara simetris, sehingga penulangan arah x sama dengan penulangan arah y. Beban yang terjadi pada poer:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat poer} &= A \times t \times \text{berat jenis} \\
 &= 402 \times 1.5 \times 2400 \\
 &= 1446336 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$P_{\max} \text{ 1 tiang} = 32240 \text{ kg}$$

Dari konfigurasi pemasangan titik tiang pancang

- X1 = Y1 = 1.4 m terhadap pusat, n = 2 buah
- X2 = Y2 = 3.5 m terhadap pusat, n = 4 buah

- $X3 = Y3 = 5.6$  m terhadap pusat,  $n = 4$  buah
- $X4 = Y4 = 6.4$  m terhadap pusat,  $n = 2$  buah

Momen akibat tiang pancang

$$M_{pi} = n \times P_{max} \times \text{jarak ke titik pusat}$$

Sehingga didapat momen akibat titik pancang

$$M_{p1} = 90272 \times 4 = 361099 \text{ kgm}$$

$$M_{p2} = 451360 \times 10 = 4513600 \text{ kgm}$$

$$M_{p3} = 722176 \times 18 = 12999168 \text{ kgm}$$

$$M_{p4} = 412672 \times 24 = 9904128 \text{ kgm}$$

$$M_p = 27777995 \text{ kgm}$$

Momen akibat beban poer

$$M_q = (\text{berat poer}/2) \times \text{jarak ke sumbu pusat}$$

$$= \frac{1446336}{2} \times \frac{11.7 - 2.4}{2} - 2.4 \times \frac{0}{0}$$

$$= 1627128 \text{ kgm}$$

Momen ultimate rencana,  $M_u = \Sigma M_p - M_q$

$$M_u = 27777995 - 1627128$$

$$= 26150867 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{f} = \frac{26150867}{0.8} = 32688583 \text{ kgm}$$

$$= 3.26 \times 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$M_n/\text{meter lebar} = \frac{3.26 \times 10^{11}}{4 \times 8.9} = 9157303371 \text{ Nmm}$$

$$b = \frac{0.85 \cdot b1 \cdot f'c \cdot \frac{600}{600 + f_y}}{f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.8 \times 45 \times \frac{600}{600 + 400}}{400}$$

$$= 0.0459$$

$$\text{max} = 0.75 \rho_b$$

$$= 0.75 \times 0.0459$$

$$= 0.0344$$

$$\text{min} = \frac{1.4}{f_y}$$



$$\begin{aligned}
&= \frac{1.4}{400} \\
&= 0.0035 \\
\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
m &= \frac{f_y}{0.85 f'c} \\
&= \frac{400}{0.85 \times 45} \\
&= 10.458 \\
dx &= 1377 \text{ mm} \\
R_n &= \frac{M_n}{b \cdot dx^2} \\
&= \frac{9157303371}{1000 \times 1377^2} \\
&= 4.823 \\
\rho \text{ perlu} &= \frac{1}{10.458} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10.458 \times 4.823}{400}} \right) \\
&= 0.0129 > \rho \text{ min } (0.0035) \\
\rho \text{ pakai} &= 0.0129 \\
\text{As perlu} &= \rho \text{ pakai} \times b \times dx \\
&= 0.0129 \times 1000 \times 1377 \\
&= 17807.33 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Dengan tebal dinding  $\geq 250$  mm maka penulangan dipakai 2 lapis dengan ketentuan sebagai berikut:

- Lapis 1  $\geq \frac{1}{2}$  dari total kebutuhan tulangan dan  $\leq \frac{2}{3}$  dari kebutuhan tulangan dipasang dengan jarak  $\geq 50$  mm dan  $\leq \frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding
- Lapis 2 yaitu sisanya ditempatkan dengan jarak  $\geq 20$  mm dan  $\leq \frac{1}{3}$  tebal dinding dari muka dinding

Dipasang  $\frac{1}{2}$  dari jumlah tulangan untuk masing 2 lapis dengan jarak 50 mm dari muka dinding.

Diambil untuk masing – masing lapis  $\frac{1}{2}$  dari As perlu, sehingga As perlu untuk masing – masing lapis =  $17807.33/2 = 8903.665$  mm<sup>2</sup>. Tulangan pakai = D25-100 mm.

#### 5.4.3.3 Perencanaan Tulangan Pile Cap

Untuk tulangan bagi digunakan 50% dari tulangan pokok, maka  $As_2 = 4451.83$  mm<sup>2</sup>

Direncanakan diameter tulangan bagi 25 mm

Tulangan pakai = D25-100

#### 5.4.3.4 Perencanaan Tulangan Geser

$$P_{max} = 32240 \text{ kg}$$

$$V_p = P_{max} \times n$$

$$= 32240 \times 56$$

$$= 1805440 \text{ kg}$$

$$V_{poer} = 1446336 \text{ kg}$$

$$\text{Gaya geser ultimate } (V_u) = V_p - V_{poer}$$

$$V_u = 1805440 - 1446336$$

$$= 3559104 \text{ kg}$$

Gaya geser yang disumbangkan beton

$$\phi V_c = \frac{f \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{6}$$

$$= 0.75 \times \frac{\sqrt{45} \times 1000 \times 1377}{6}$$

$$= 1154649.602 \text{ kg}$$

Gaya geser yang disumbangkan oleh baja tulangan

$$\phi V_s = V_u - V_c$$

$$= 3559104 - 1154649.60$$

$$= 2404454.4 \text{ kg}$$

Syarat:

$$\phi V_s < \frac{\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{3}$$

$$\phi V_s < \frac{\sqrt{45} \times 1000 \times 1377}{3}$$

$$2404454.4 \text{ kg} < 3079065.605 \text{ kg}$$

Maka diambil  $\phi V_s = 2404454.4 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} A_v &= \frac{1}{4} \pi D^2 \times 2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 25^2 \times 2 \\ &= 981.748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s &= 0.6 \times \frac{981.748 \times 400 \times 1377}{2404454.4} \\ &= 134.936 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pakai tulangan geser D25-150

#### 5.4.3.5 Kontrol Geser Pons

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 13.12 yang menyatakan bahwa dalam merencanakan tebal poer, harus memenuhi persyaratan bahwa kekuatan gaya geser nominal harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Dimana kuat geser yang disumbangkan beton diambil terkecil dari:

$$\bullet \quad V_c = 0.17 \beta_c \left( 1 + \frac{2 \alpha_s}{b_0} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.a

$$\bullet \quad V_c = 0.083 \beta_c \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.b

$$\bullet \quad V_c = 0.33 \sqrt{f'_c} b_0 d$$

SNI 03-2847-2013 Pasal 11.11.2.1.c

Dimana:

$\beta_c$  = rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek pada kolom

$b_0$  = keliling dari penampang kritis pada poer

$\alpha_s$  = 40, untuk kolom interior

30, untuk kolom tepi

20, untuk kolom pojok

a) Kontrol Geser Pons Tiang Pancang Tepi

$$V_c = 0.17 \beta_c \left( 1 + \frac{2 \alpha_s}{b_0} \right) \sqrt{f'_c} b_0 d$$

$$\beta_c = 1$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 2 \pi (d+D \text{ tiang}) \\ &= 2 \pi (1377+1000) \\ &= 14935.131 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17x_c^{\frac{2}{3}} \left( 1 + \frac{2}{b_0} \right) / x \sqrt{45x} 14935.131x1377 \\ &= 221039190 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.083x_c^{\frac{2}{3}} \frac{a_s \cdot d}{b_0} + \frac{2}{b_0} / \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 0.083x_c^{\frac{2}{3}} \frac{40x1377}{14935.131} + \frac{2}{b_0} / x \sqrt{45x} 14935.131x1377 \\ &= 204612840 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.33\sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 0.33x\sqrt{45x} 14935.131x1377 \\ &= 45526382.64 \text{ N (menentukan)} \end{aligned}$$

$$V_c (45526382.64 \text{ N}) > V_u \text{ tiang} (3224000 \text{ N}) \quad (\text{OK})$$

b) Kontrol Geser Pons Kolom

$$V_c = 0.17x_c^{\frac{2}{3}} \left( 1 + \frac{2}{b_0} \right) / \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d$$

$$\beta_c = 1$$

$$\begin{aligned} b_0 &= 2 \pi (d+D \text{ kolom}) \\ &= 2 \pi (1377+600) \\ &= 12421.857 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17x_c^{\frac{2}{3}} \left( 1 + \frac{2}{b_0} \right) / x \sqrt{45x} 12421.857x1377 \\ &= 183842861 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.083x_c^{\frac{2}{3}} \frac{a_s \cdot d}{b_0} + \frac{2}{b_0} / \sqrt{f'c} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 0.083x_c^{\frac{2}{3}} \frac{40x1377}{12421.857} + \frac{2}{b_0} / x \sqrt{45x} 12421.857x1377 \\ &= 132666751.1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.33\sqrt{f'_c} \cdot b_0 \cdot d \\ &= 0.33 \times \sqrt{45} \times 12421.857 \times 1377 \\ &= 37865235.51 \text{ N (menentukan)} \\ V_c (37865235.51 \text{ N}) &> V_u \text{ kolom (906500 N)} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

***"Halaman ini sengaja dikosongkan"***

## BAB VI KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil modifikasi dinding circular clarifier tank antara lain sebagai berikut:

1. Dalam merencanakan dinding circular clarifier tank yang semula setebal 35 cm, dengan rumus dari *Portland Cement Asosiation* dari buku “*Design and Construction*” direncanakan:  
 $f_y = 400 \text{ Mpa}$   
 $f_c' = 45 \text{ Mpa}$   
 dari perhitungan didapatkan hasil modifikasi sebesar 26 cm.
2. Kehilangan gaya prategang dihitung dalam 2 kondisi yaitu kondisi *short term* dan *long term*.
  - kondisi *short term*  
 terjadi akibat gaya pengangkur, gaya gesekan, dan perpendekan elastis. Gaya yang tersisa pada strand prategang yaitu:

Jumlah Strand	5	7	9	11	12
Sisa	37.157%	37.04%	36.93%	36.82%	36.77%
	3093.994 kN	4317.952 kN	5535.165 kN	6745.051 kN	7348.245 kN

- kondisi *long term*  
 terjadi akibat creep, shrinkage, dan relaksasi beton. Gaya yang tersisa pada strand prategang yaitu:

Jumlah Strand	5	7	9	11	12
Sisa	36.544%	36.460%	36.383%	36.606%	36.271%
	3042.949 kN	4250.323 kN	5453.193 kN	6650.893 kN	7328.524 kN

3. Pengaturan jarak pemakaian tendon dan jumlah strand di tiap pembagian jaraknya :

Elevasi (meter)	Tendon yang Digunakan	Jarak Tendon (per meter)
5.6-6.69	5-3 (2)	1.09
4.8-5.6	5-7 (4)	0.8
4-4.8	5-7 (6)	0.8
3.2-4	5-12 (9)	0.8
2.4-3.2	5-12 (11)	0.8
1.6-2.4	5-19 (13)	0.8
0.8-1.6	5-19 (15)	0.8
0-0.8	5-19 (18)	0.8

4. Perencanaan pondasi menggunakan metode *Luciano Decourt*. Dengan  $Q_u$  ijin = 86.432 ton dan  $P_u$  total = 5076.4 ton, jumlah minimum bored pile yang dibutuhkan sebanyak 32 buah. Setelah melalui perhitungan ternyata total bored pile yang dibutuhkan untuk 56 kolom adalah 168 buah, dengan jarak x dan y antar pile sebesar 2.9 meter.
5. Permodelan struktur circular clarifier tank pada program SAP 2000 dapat dilihat di Bab V tentang Permodelan Struktur dengan SAP 2000 pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2**.



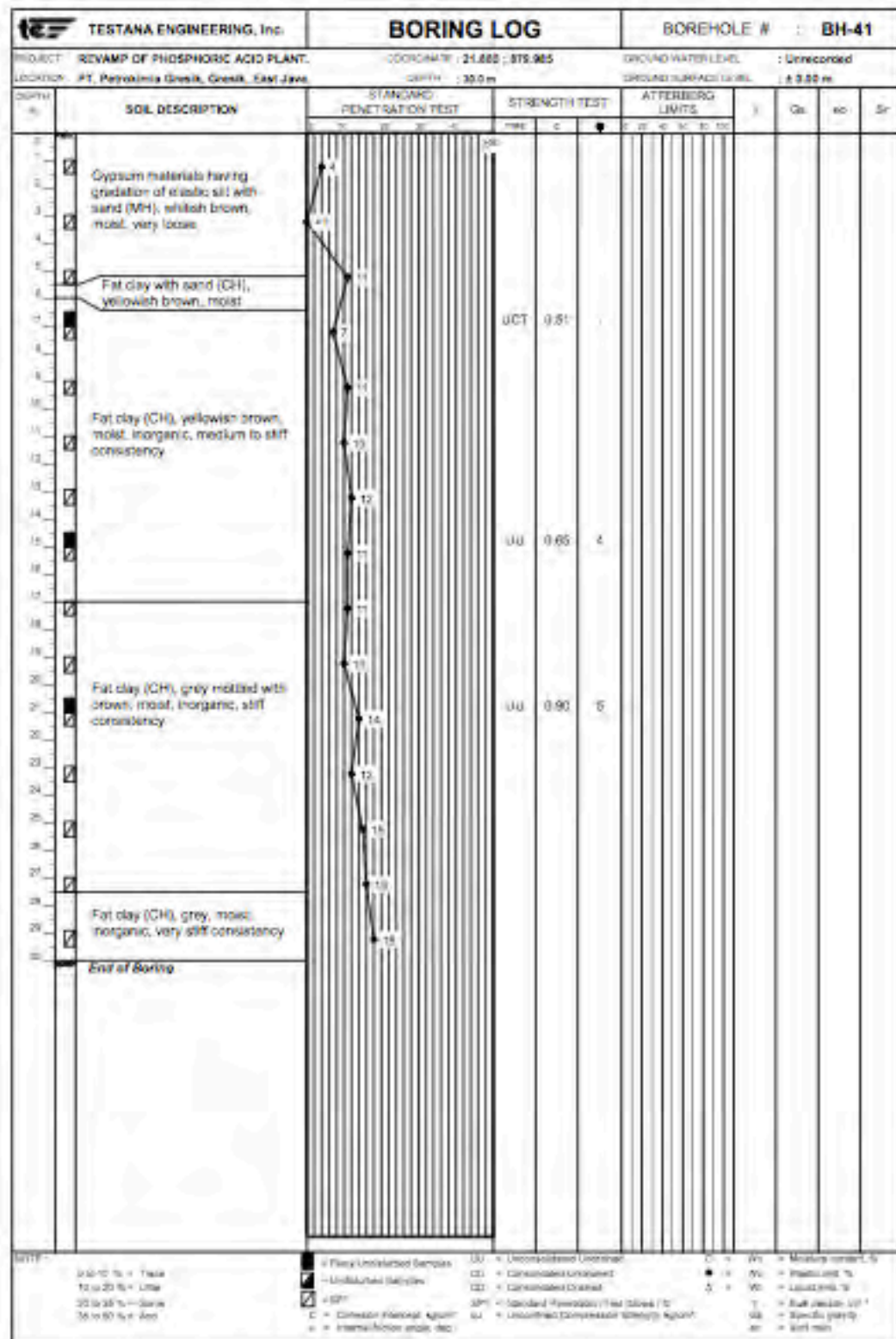
Lampiran 1  
Perhitungan Pembebanan

<b>Kedalaman m</b>	<b>P kg/m2</b>	<b>q kg/m2</b>	<b>Cd</b>	<b>Pd kg/m2</b>	<b>qd kg/m2</b>	<b>Vyd® kg/m2</b>
0	0	0	1.1	0	0	0
0.5	113.056	42.185	1.1	124.361	46.403	-2562.048
1	271.333	101.244	1.1	298.467	111.368	-5029.664
1.5	407.000	151.866	1.1	447.700	167.052	-7544.497
2	520.056	194.051	1.1	572.061	213.456	-10106.544
2.5	655.722	244.672	1.1	721.294	269.140	-12621.377
3	791.389	295.294	1.1	870.528	324.824	-15136.209
3.5	927.056	345.916	1.1	1019.761	380.508	-17651.041
4	1040.111	388.101	1.1	1144.122	426.911	-20213.089
4.5	1130.556	421.849	1.1	1243.611	464.034	-22822.352
5	1288.833	480.908	1.1	1417.717	528.999	-25289.969
5.5	1424.500	531.530	1.1	1566.950	584.683	-27804.801
6	1560.167	582.152	1.1	1716.183	640.367	-30319.633
6.5	1673.222	624.337	1.1	1840.544	686.770	-32881.681
6.69	1718.444	641.211	1.1	1890.289	705.332	-33850.538

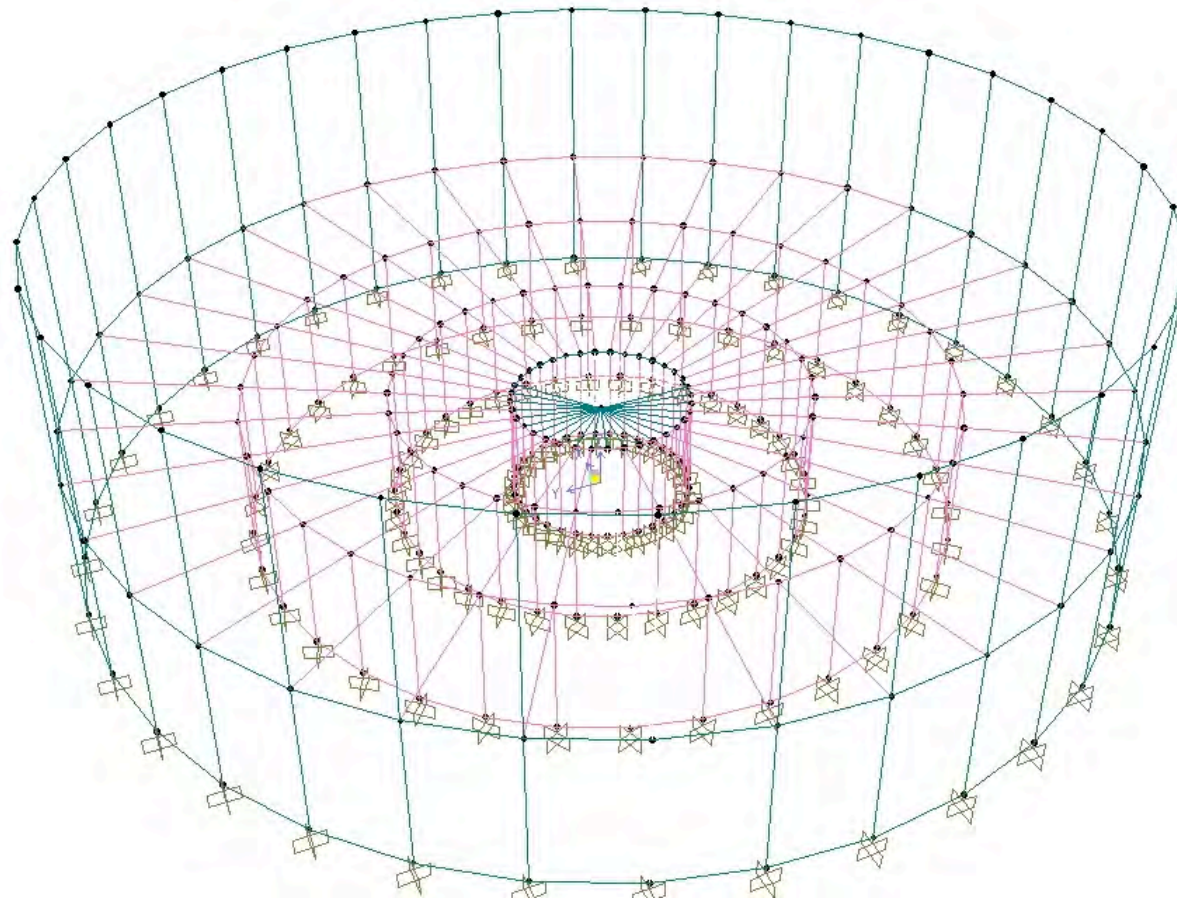
Lampiran 2  
Perhitungan Beban Angin

H	P	V
0.5	114.49	42.8
1	116.100625	43.1
1.5	117.7225	43.4
2	119.355625	43.7
2.5	121	44
3	122.655625	44.3
3.5	124.3225	44.6
4	126.000625	44.9
4.5	127.69	45.2
5	129.390625	45.5
5.5	131.1025	45.8
6	132.825625	46.1
6.5	134.56	46.4
6.69	135.2220123	46.514

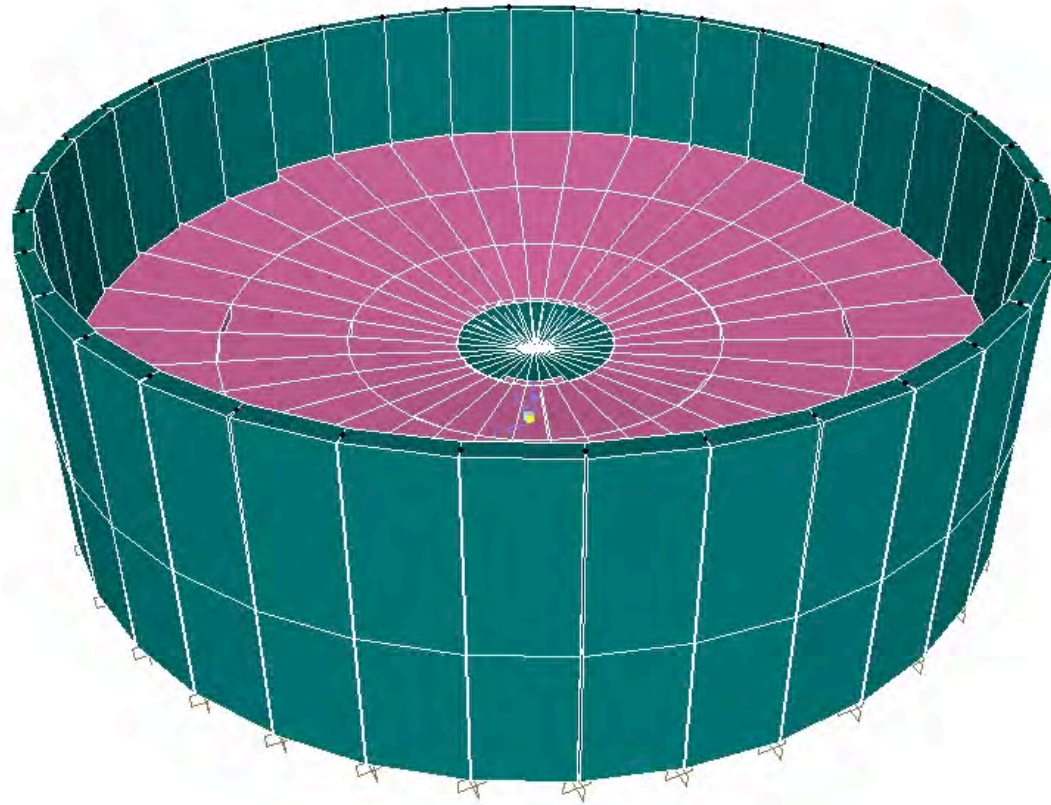
Lampiran 3  
Data Tanah



Lampiran 4  
Permodelan Circular Clarifier Tank pada SAP2000



Lampiran 5  
Permodelan Circular Clarifier Tank pada SAP2000



Lampiran 6  
Perhitungan Kebutuhan Tendon Prategang

Ketinggian	Tegangan (kgf/m <sup>2</sup> )				S11 Max	Tegangan Ijin	S11 Max	Strand Type	Jarak
(m)	S11 Top		S11 Bot						
	max	min	max	min					
5.6-6.69	227.32	-155.93	309.36	164.19	309.36	0.74	418.05	5-3 (2)	1.09
4.8-5.6	454.65	-311.87	618.71	328.37	618.71	0.74	836.09	5-7 (4)	0.8
4-4.8	681.97	-467.8	928.07	492.56	928.07	0.74	1254.15	5-7 (6)	0.8
3.2-4	909.3	-623.74	1237.43	656.74	1237.43	0.74	1672.20	5-12 (9)	0.8
2.4-3.2	1136.62	-779.67	1546.79	820.93	1546.79	0.74	2090.26	5-12 (11)	0.8
1.6-2.4	1363.95	-9355.61	1856.14	985.11	1856.14	0.74	2508.30	5-19 (13)	0.8
0.8-1.6	1591.27	-1091.54	2165.5	1149.3	2165.5	0.74	2926.35	5-19 (15)	0.8
0-0.8	1901	-1304	2587	1373	2587	0.74	3495.95	5-19 (18)	0.8



Lampiran 7  
Daftar Tendon yang Digunakan

## MULTISTRAND POST-TENSIONING



### STRAND PROPERTIES – TO AS1311

Nominal Diameter	Nominal Steel Area	Nominal Mass	Minimum Breaking Load	Minimum Proof Load (0.2% Offset)	Min. Elong. to Fracture in 600mm	Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load	Modulus of Elasticity
mm	mm <sup>2</sup>	kg/m	kN	kN	%	%	MPa
12.7	100.1	0.786	184	156.4	3.5	2.5	180-205
15.2	143.3	1.125	250	212.5	3.5	2.5	x 10 <sup>3</sup>

### TENDON PROPERTIES

STRAND TYPE 12.7mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
5-3	2	368	39
	3	552	39
	4	736	51
5-7	5	920	51
	6	1100	51
	7	1290	51
5-12	8	1470	69
	9	1660	69
	10	1840	69
	11	2020	69
5-19	12	2210	69
	13	2390	84
	14	2580	84
	15	2760	84
5-22	16	2940	84
	17	3130	84
	18	3310	84
	19	3500	84
5-27	20	3680	90
	21	3860	90
	22	4050	90
5-31	23	4230	96
	24	4420	96
	25	4600	96
	26	4780	96
	27	4970	96
5-37	28	5150	105
	29	5340	105
	30	5520	105
	31	5700	105
	32	5890	115
5-42	33	6070	115
	34	6260	115
	35	6440	115
	36	6620	115
	37	6810	115
5-48	38	6990	118
	39	7180	118
	40	7360	118
	41	7540	118
	42	7730	118
5-55	43	7910	127
	44	8100	127
	45	8280	127
	46	8460	127
	47	8650	127
5-55	48	8830	127
	49	9020	135
	50	9200	135
	51	9380	135
	52	9570	135
	53	9750	135
	54	9940	135
	55	10120	135

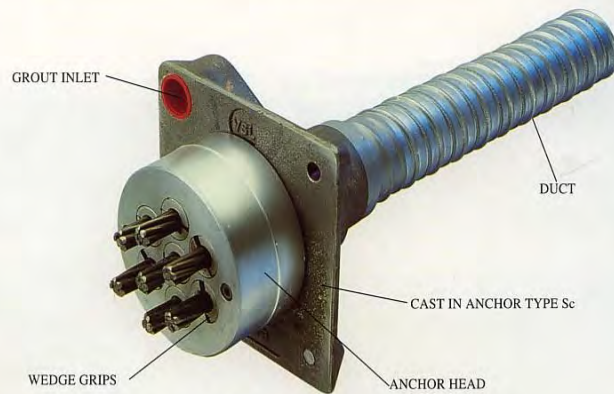
STRAND TYPE 15.2mm			
TENDON UNIT	No. OF STRANDS	Minimum Breaking Load kN	STEEL DUCT. Internal Diameter mm
6-3	2	500	39
	3	750	39
6-4	4	1000	51
	5	1250	51
6-7	6	1500	51
	7	1750	51
6-12	8	2000	69
	9	2250	69
	10	2500	69
	11	2750	69
6-19	12	3000	84
	13	3250	84
	14	3500	84
	15	3750	84
6-22	16	4000	96
	17	4250	96
	18	4500	96
	19	4750	96
6-27	20	5000	105
	21	5250	105
	22	5500	105
6-31	23	5750	115
	24	6000	115
	25	6250	115
	26	6500	115
	27	6750	115
6-37	28	7000	118
	29	7250	118
	30	7500	118
	31	7750	118
	32	8000	127
6-42	33	8250	127
	34	8500	127
	35	8750	127
	36	9000	135
	37	9250	135
6-48	38	9500	135
	39	9750	135
	40	10000	135
	41	10250	135
	42	10500	135
	43	10750	144
	44	11000	144
	45	11250	144
6-55	46	11500	144
	47	11750	144
	48	12000	144
	49	12250	154
	50	12500	154
	51	12750	154
	52	13000	154
	53	13250	154
6-55	54	13500	154
	55	13750	154

Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.  
2. Duct diameters are for corrugated steel duct.  
3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal  
4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.  
5. For special applications other strand and tendon capacities are available.

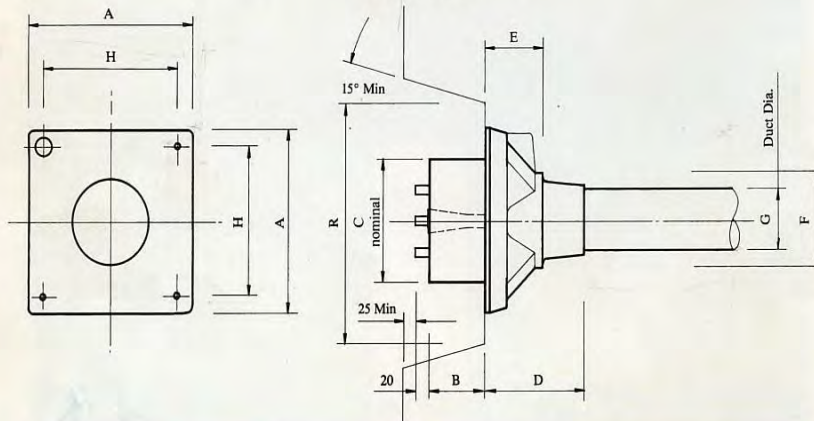
Lampiran 8  
Angker yang Digunakan



## MULTISTRAND POST-TENSIONING



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc  
LIVE END



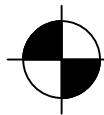
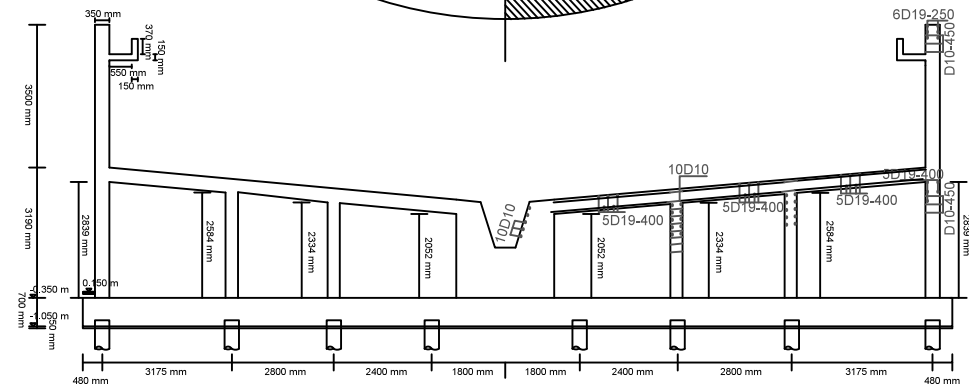
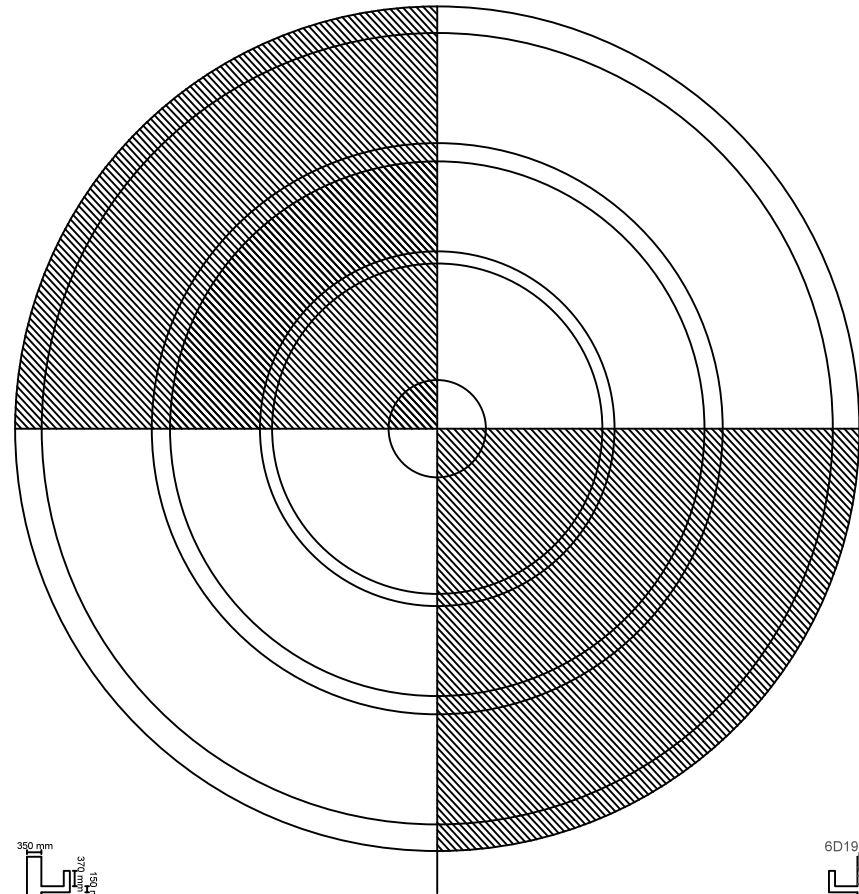
TENDON UNIT		Dimensions (mm)								
		A	B	C	D	E	F	G Int. Dia.	H	R
STRAND TYPE 12.7mm	*5-3P	135	57	90	191	16	56	39	116	210
	*5-4P	150	57	90	216	16	64	39	125	210
	5-7	165	57	120	100	60	85	51	125	275
	5-12	215	54	160	160	84	120	69	151	320
	5-19	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	5-22	290	77	200	215	140	153	90	230	360
	5-27	315	92	220	250	160	176	96	250	360
	5-31	315	92	230	250	161	175	105	250	360
	5-37	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	5-42	390	112	290	346	168	217	118	325	650
	5-48	430	122	300	340	161	233	127	365	750
	5-55	465	142	320	340	160	400	135	400	750
STRAND TYPE 15.2mm	*6-3P	150	60	90	190	16	56	39	116	210
	*6-4P	165	54	120	100	60	85	51	125	270
	6-7	215	54	160	160	85	120	69	150	320
	6-12	265	66	180	210	110	145	84	200	360
	6-19	315	92	220	250	160	175	96	250	360
	6-22	315	92	230	250	160	175	105	250	360
	6-27	370	107	250	320	160	200	115	305	650
	6-31	390	112	290	340	160	217	118	325	650
	6-37	430	122	300	340	160	235	135	365	750
	6-42	465	142	320	340	160	250	135	400	750
	*6-48P	575	155	340	1035	110	269	144	495	900
	*6-55P	600	190	360	1070	120	294	154	520	900

Note: Dimension R does not allow for Lift Off force check. Smaller recesses can be provided for special cases.

Refer VSL office for details.

\*Plate type anchorages (Type P). Also available for other tendon units.





Tampak Atas dan Tampak Samping  
Skala 1:200



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

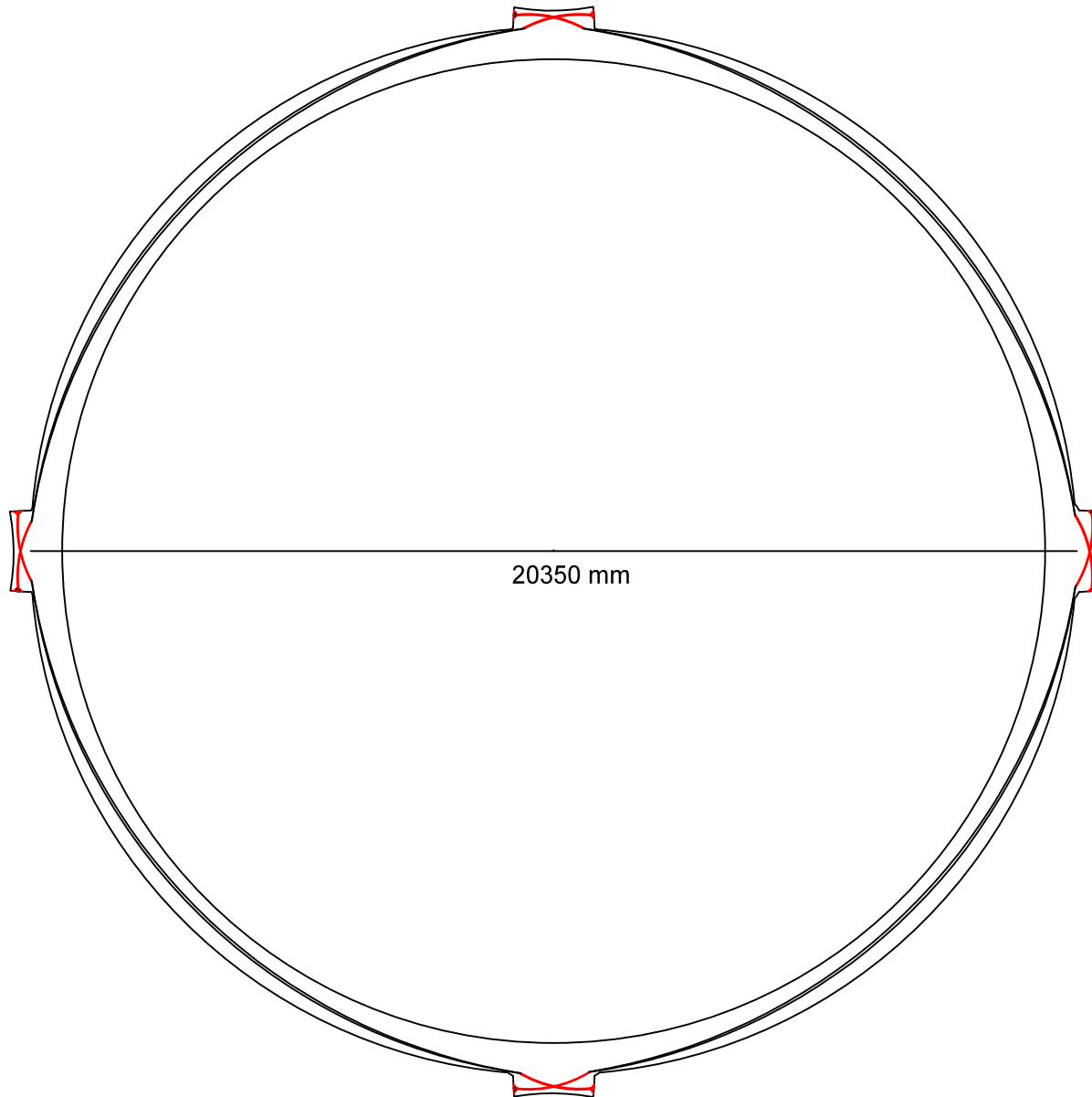
NAMA MAHASISWA  
LISA FAYANITA 31 11 100 046

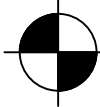
JUDUL GAMBAR  
TAMPAK ATAS  
dan  
TAMPAK SAMPIING

UKURAN  
mm

SKALA  
1 : 200

LEMBAR  
01




 Potongan Melintang Dinding  
 Skala 1:200



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
 PRIMARY CLARIFIER TANK  
 PT. PETROKIMIA GRESIK  
 MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
 Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

NAMA MAHASISWA

LISA FAYANITA      31 11 100 046

JUDUL GAMBAR

Potongan Melintang Dinding

UKURAN

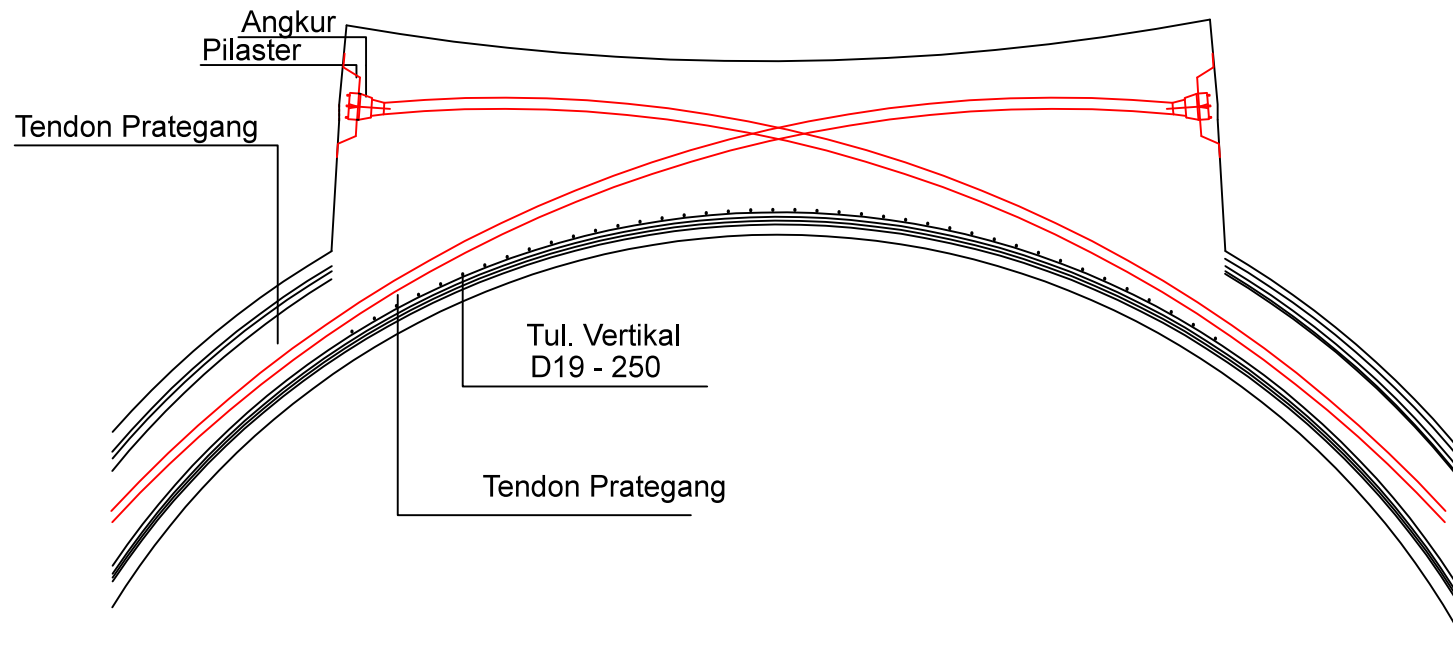
mm

SKALA

1 : 200

LEMBAR

02




 Detail Titik Jacking  
 Skala 1:25



**INSTITUT TEKNOLOGI  
 SEPULUH NOPEMBER**  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
 PRIMARY CLARIFIER TANK  
 PT. PETROKIMIA GRESIK  
 MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
 Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

NAMA MAHASISWA

LISA FAYANITA      31 11 100 046

JUDUL GAMBAR

Detail Titik Jacking

UKURAN

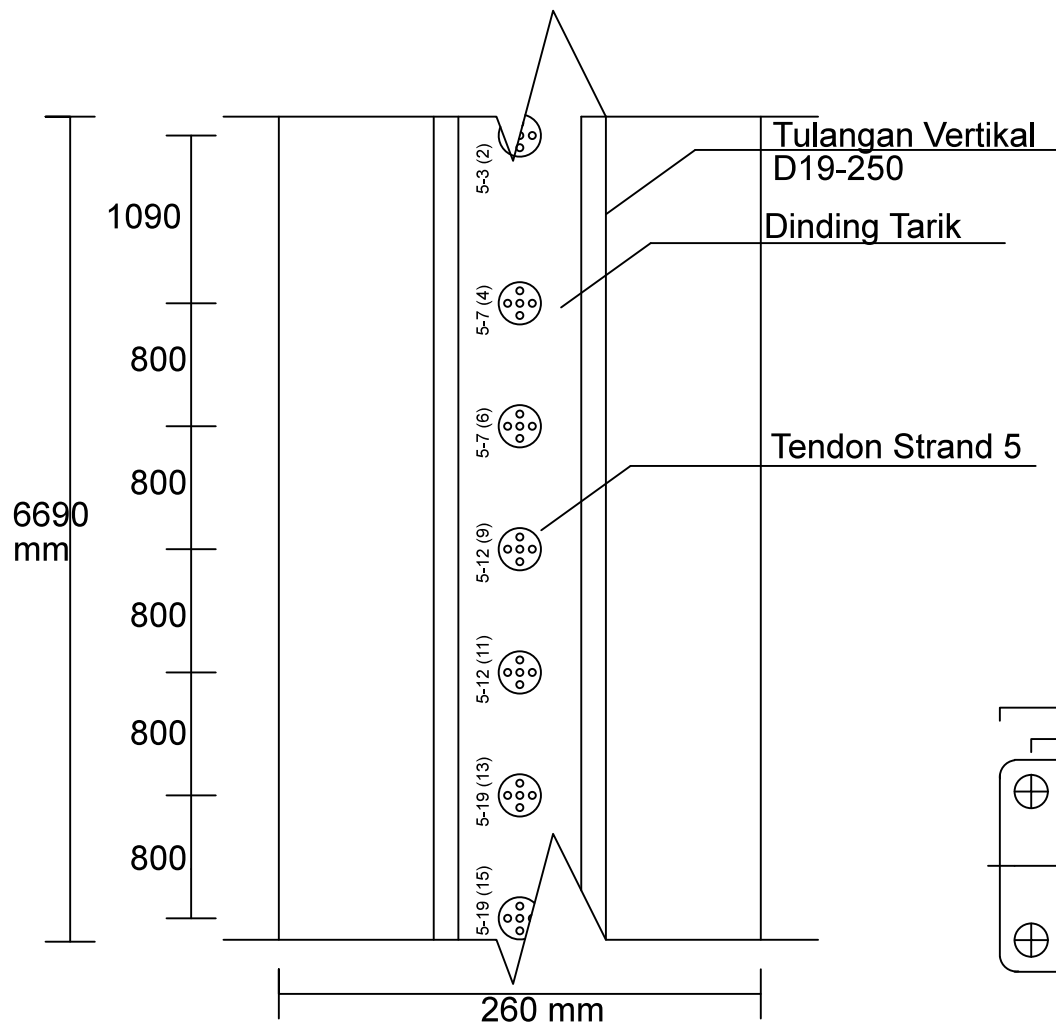
mm

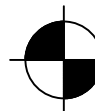
SKALA

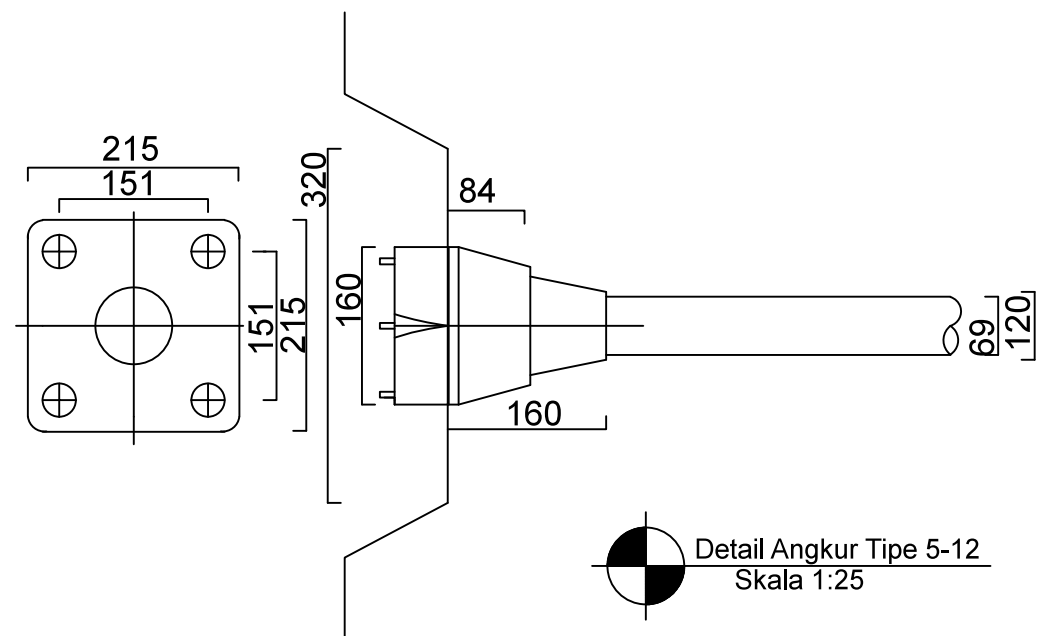
1 : 25

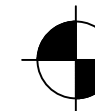
LEMBAR

03

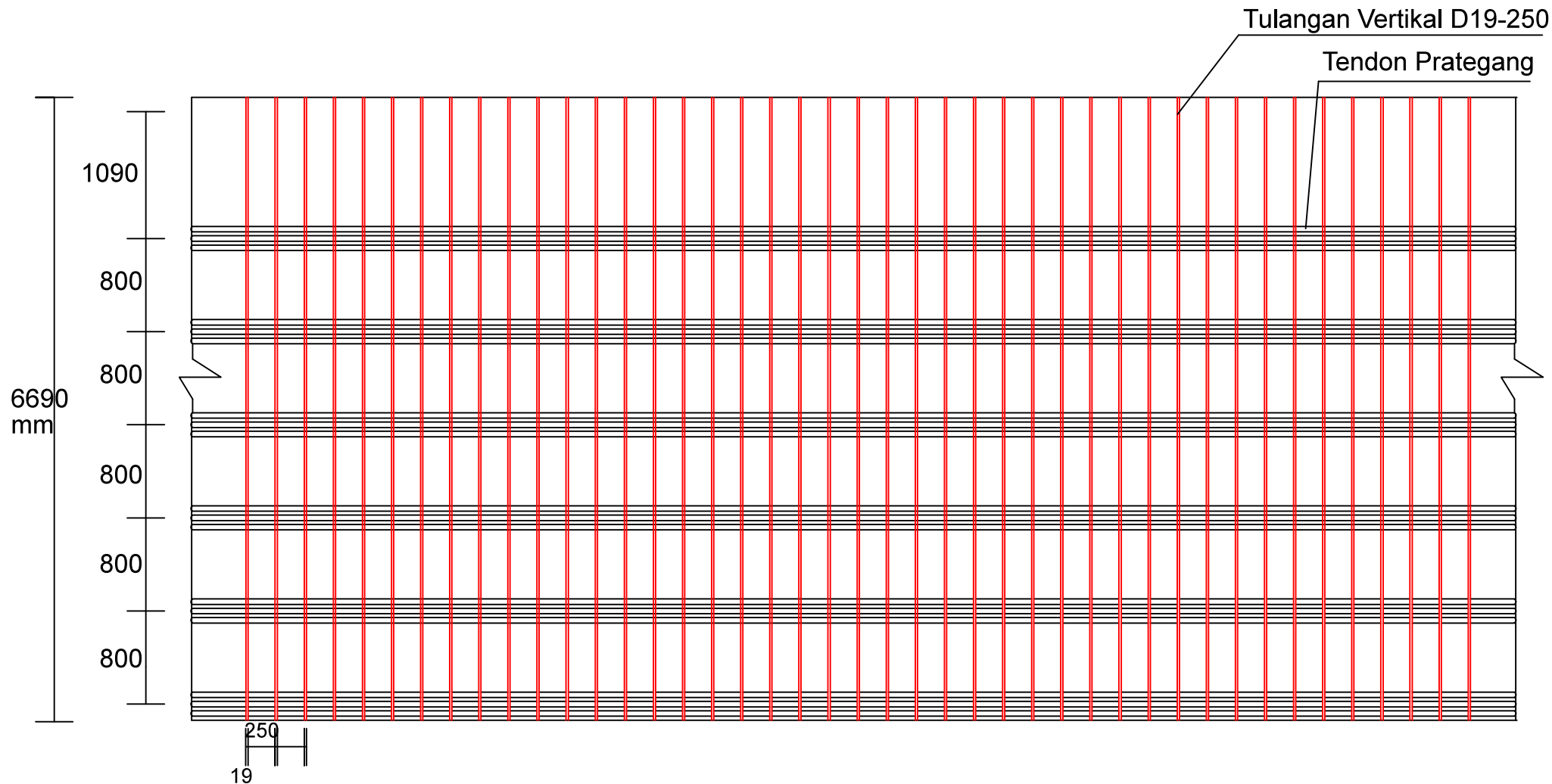


 Detail Tendon pada Dinding  
Skala 1:25



 Detail Angkur Tipe 5-12  
Skala 1:25





Penampang Dinding yang Dipanjangkan  
Skala 1:100



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

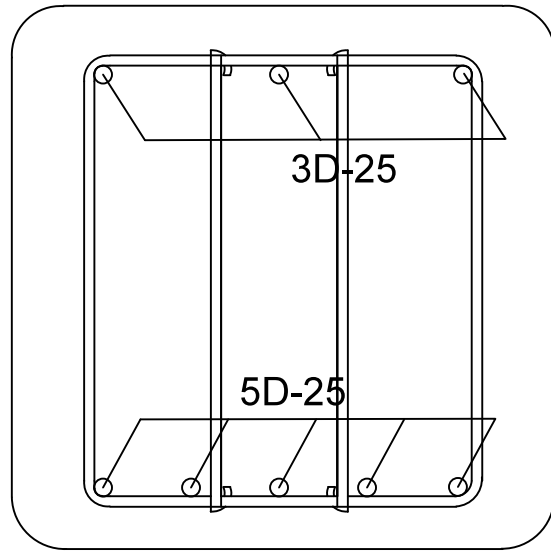
NAMA MAHASISWA  
LISA FAYANITA 31 11 100 046


JUDUL GAMBAR  
Penampang Dinding  
yang Dipanjangkan

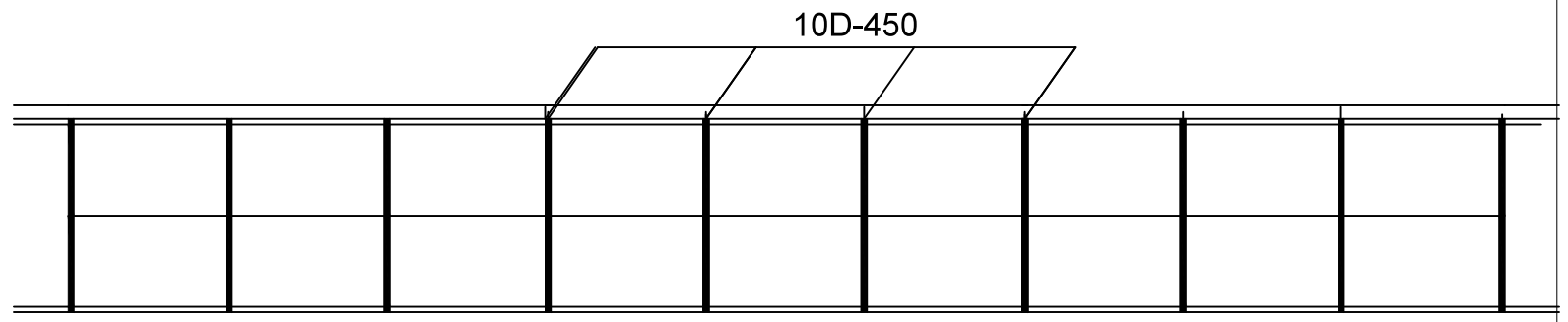
UKURAN  
mm


SKALA  
1 : 100

LEMBAR  
5



 Tulangan Lentur Lapangan Balok Melingkar  
Skala 1:50



 Tulangan Geser Balok Melingkar  
Skala 1:50



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

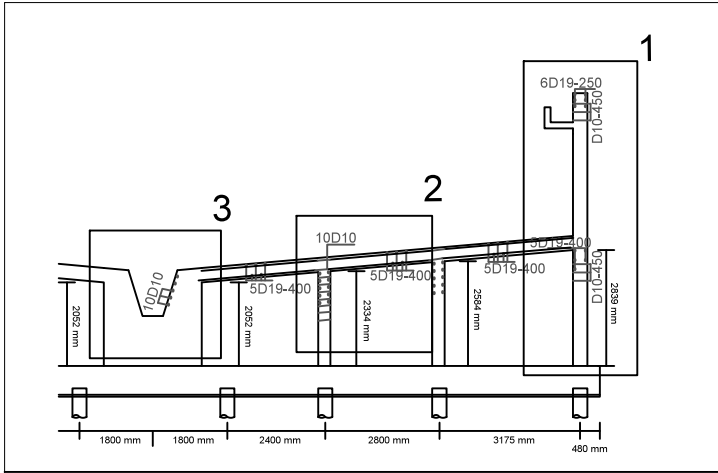
NAMA MAHASISWA  
LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR  
DETAIL TULANGAN

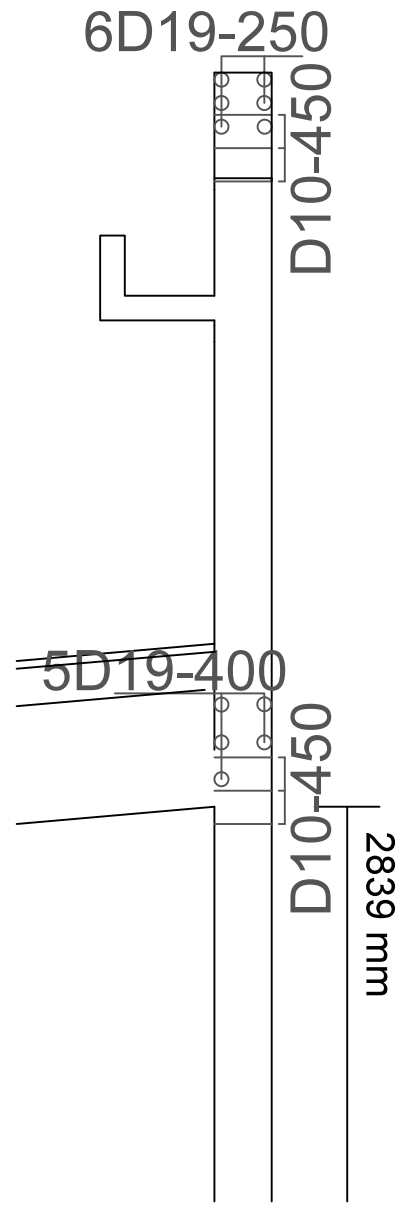
UKURAN  
mm

SKALA

LEMBAR  
06



Detail 1 Penulangan Dinding  
Skala 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

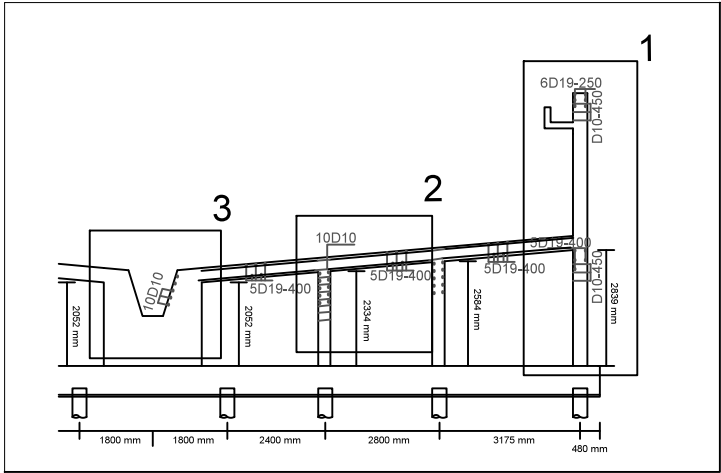
NAMA MAHASISWA  
LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR  
DETAIL 1 PENULANGAN DINDING

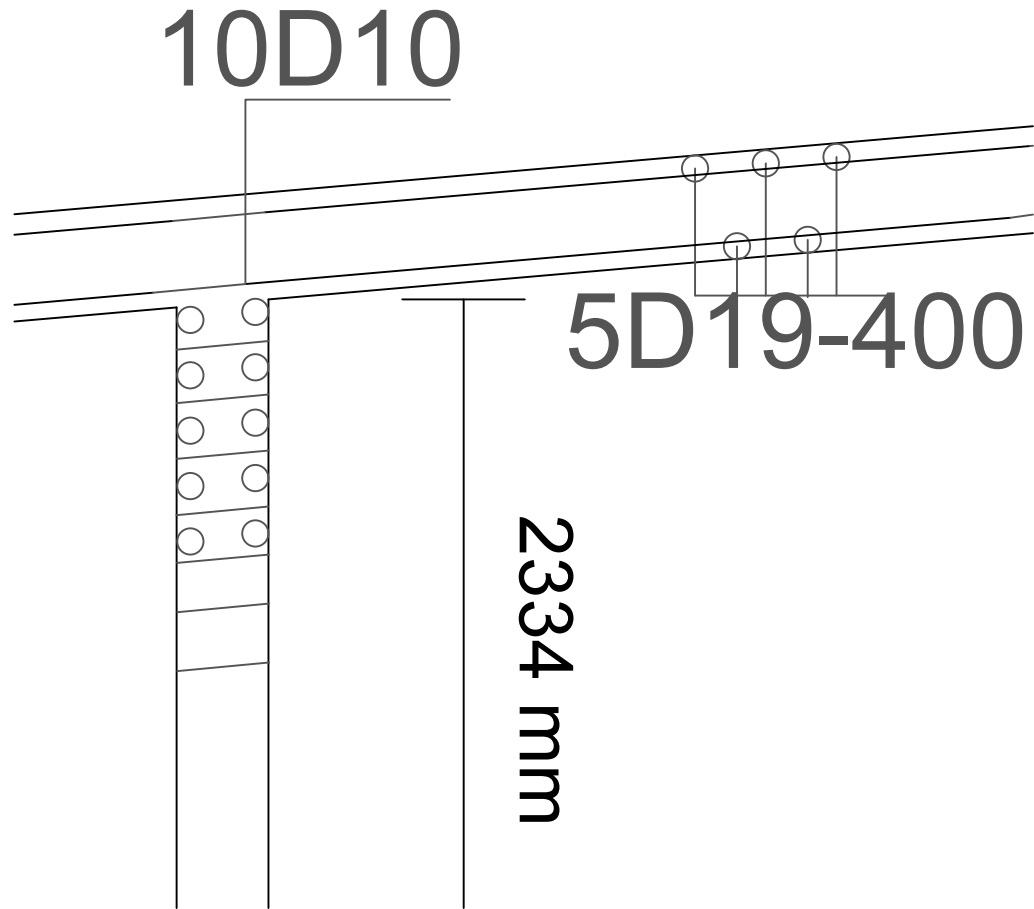
UKURAN  
mm

SKALA  
1 : 50

LEMBAR  
07



Detail 2 Penulangan Dinding  
Skala 1:50



INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

NAMA MAHASISWA

LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR

DETAIL 2 PENULANGAN DINDING

UKURAN

mm

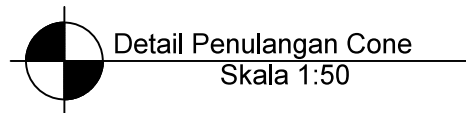
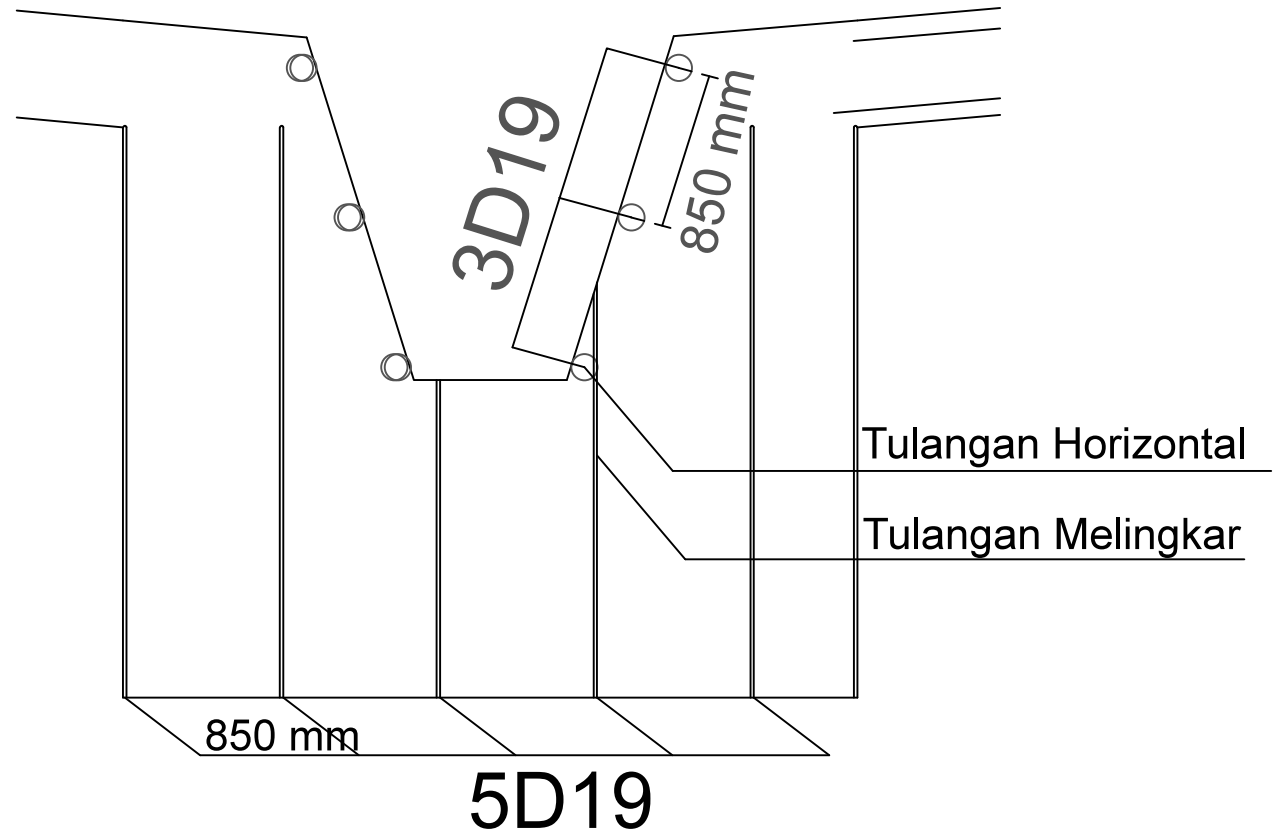
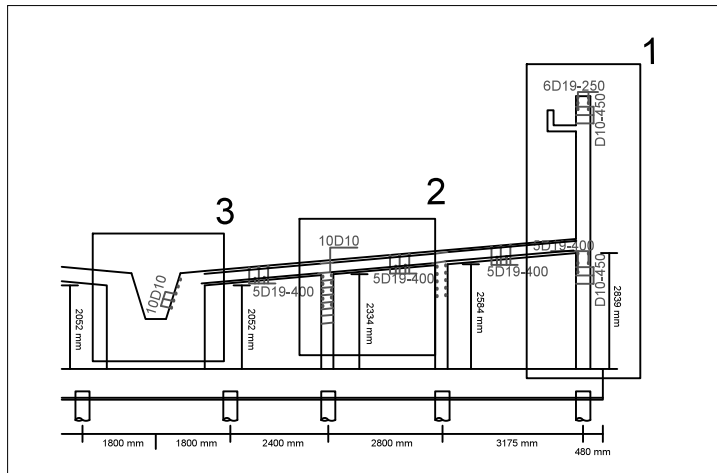
SKALA

1 : 50

LEMBAR

08





INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

NAMA MAHASISWA

LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR

DETAIL PENULANGAN CONE

UKURAN

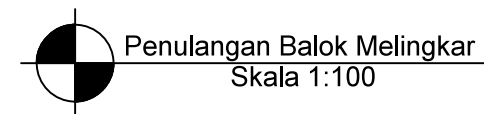
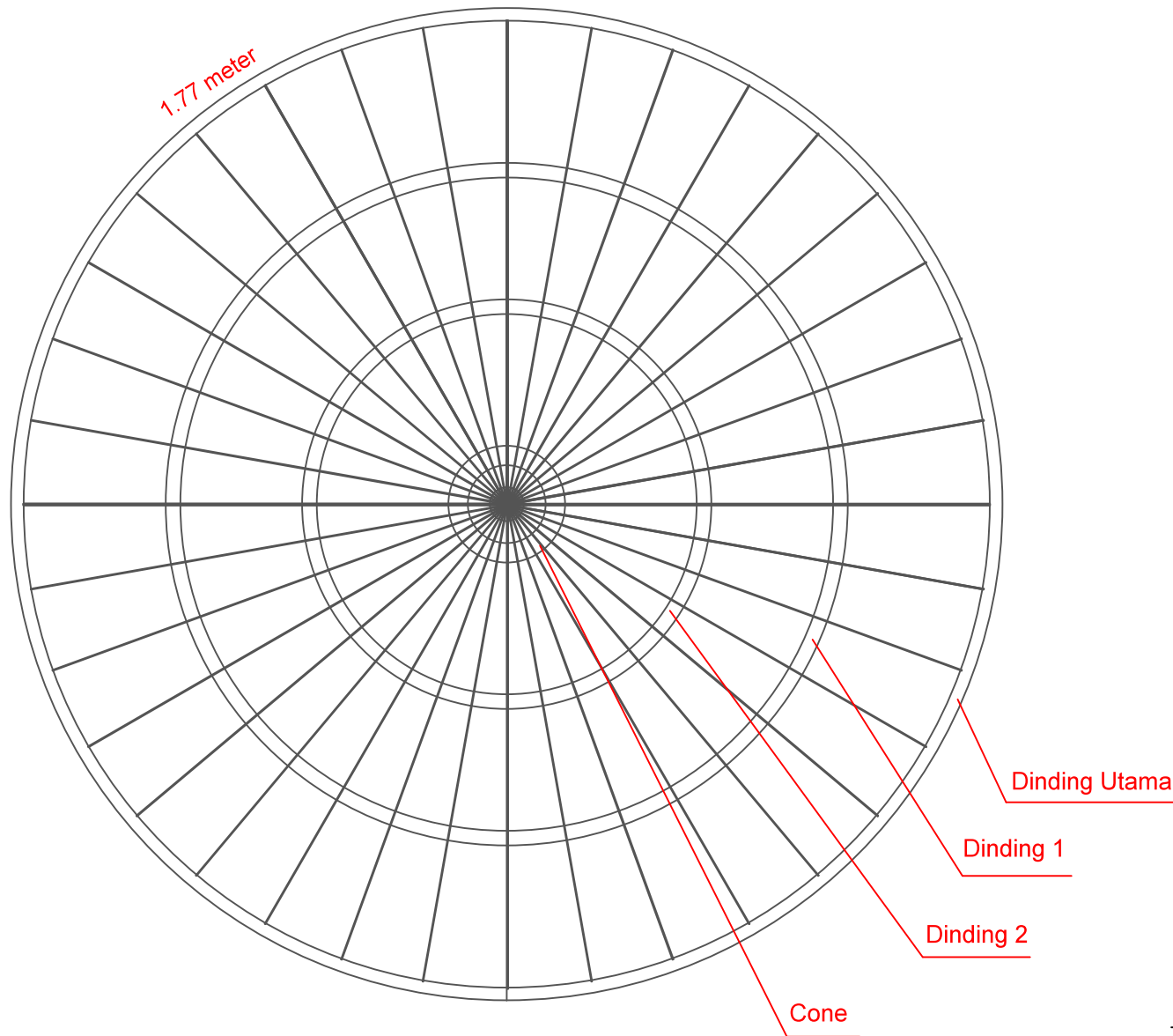
mm

SKALA

1 : 50

LEMBAR

09



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR  
MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

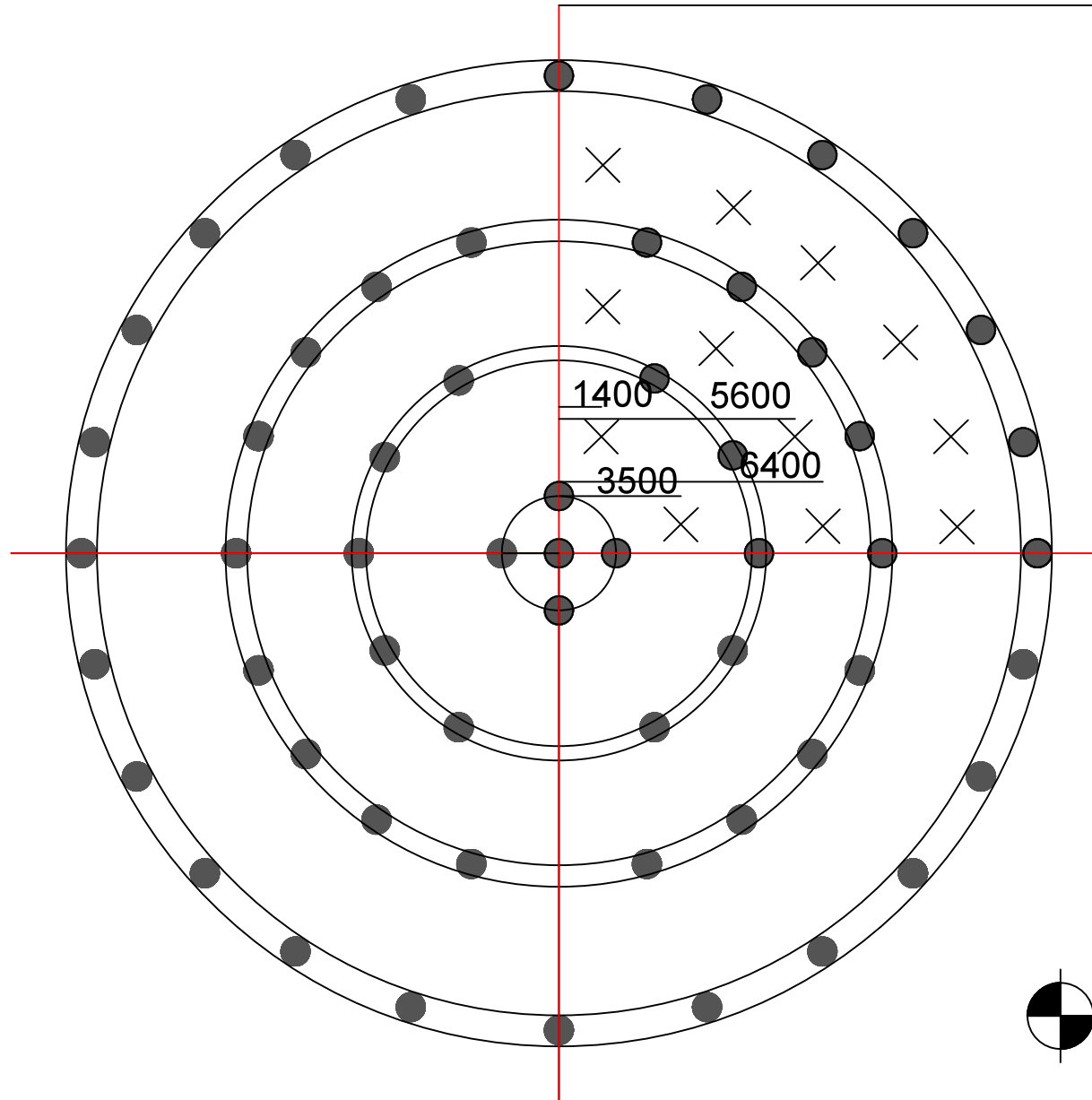
NAMA MAHASISWA  
LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR  
Penulangan Balok Melingkar

UKURAN  
mm

SKALA  
1 : 100

LEMBAR  
10



Detail Pondasi  
Skala 1:100



**INSTITUT TEKNOLOGI  
SEPULUH NOPEMBER**  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI DINDING CIRCULAR  
PRIMARY CLARIFIER TANK  
PT. PETROKIMIA GRESIK  
MENGUNAKAN BETON PRATEGANG

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA  
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D.

NAMA MAHASISWA

LISA FAYANITA 31 11 100 046

JUDUL GAMBAR

DETAIL PONDASI

UKURAN

mm

SKALA

1 : 100

LEMBAR

11

## DAFTAR PUSTAKA

1. ACI 373R-97 tentang “*Design and Construction of Circular Prestressed Concrete Structures with Circumferential Tendons*”
2. ACI 372R-00 tentang “*Design and Construction of Circular Wire- and Strand- Concrete Structures*”
3. ACI 318-11 tentang “*Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*”
4. 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Paper no. 3017 tentang “*Seismic Upgrade of Prestressed Concrete Water Tanks*”
5. Thesis The University of Alberta tentang “*Rational Design of Prestressed and Reinforced Concrete Tanks*” (Abdelaziz Abdo Rashed)
6. ACI Structural Journal Volume 204, 01 Agustus 2001 “*Design for Crack Control in Reinforced and Prestressed Beams, Two Way Slabs and Circular Tanks*” (E. G. Nawy)
7. ACI Structural Journal Volume 209, 26 September 2002 “*Behaviour of Concrete Liquid Containing Structure Subjected to Seismic Loading*” (M. R. Klanoush, W. K. Tso, M. Hamidi)
8. ACI Structural Journal Volume 285, 01 May 2012 “*Seventy Year History of Wire Wrapped Prestressed Concrete Tanks, Practice, Performance and Professional Standards*” (Daniel J. McCarthy & Lars F. Balck)
9. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 2, Issue 12, Desember 2012 “*Comparison of R.C.C. and Prestressed Concrete Circular Water Tanks*” (Riyaz Sameer, Prof. A. R. Mundhada, Snehal Metkar)

10. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Issue 6, June 2014 “*Structural Assessment of Circular Overhead Water Tank Based on Shaft Staging Subjected to Seismic Loading*” (D. K. Landge, Dr. P. B. Murnal)
11. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 4, Issue 11, November 2014 “*Comparative Study of Design of Water Tank with Reference to IS: 3370*” (M. Bhandari, Karan Deep Singh)
12. Buku Ajar Beton Prategang, Suatu Pendekatan Mendasar Edisi ke-3 Jilid 2 (Edward G. Nawy & Bambang Suryoatmono)
13. Buku Ajar Desain Struktur Beton Prategang Edisi ke-3 Jilid 2 (T. Y. Lin dan H. Burns)
14. Buku Ajar Prestressed Concrete (Narbey Khachaturian & German Gurnfinkel, 1969)
15. Buku Ajar Prestressed Concrete Structures (Dr. Amlan K. Sengupta & Prof. Devdas Menon)

## **BIODATA PENULIS**



100 046.

Lisa Fayanita dilahirkan di Pacitan, 14 Juli 1993. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Hang Tuah 6 Surabaya dan lulus tahun 2005, SMPN 18 Surabaya dan lulus tahun 2008, kemudian SMAN 6 Surabaya dan lulus tahun 2011. Pada tahun itu pula penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh November pada jurusan Teknik Sipil FTSP – ITS dengan NRP 31 11

Selama 4 tahun masa perkuliahan di Teknik Sipil FTSP-ITS penulis sempat aktif di beberapa kegiatan seminar maupun kemahasiswaan yang diselenggarakan baik oleh Himpunan Mahasiswa Sipil (HMS) FTSP-ITS maupun unit kerja di ITS. Pada semester 3 dan 4 penulis menjadi staff di Departemen Seni dan Olahraga HMS, kemudian pada 2 semester berikutnya naik tingkat menjadi sekretaris di departemen yang sama. Penulis juga sempat berkontribusi menjadi volunteer International Office ITS di semester 5 dan 6, dan kegiatan terakhir yaitu bergabung dalam kepanitiaan Civil Expo 2015 sebagai staff Publikasi dan Dokumentasi.

Penulis memutuskan mengambil bidang minat struktur saat menginjak semester 7 perkuliahan, dan mendalami Tugas Akhir tentang struktur beton.

e-mail: [lisafayanita14@gmail.com](mailto:lisafayanita14@gmail.com)